

**Vesa Honkimäki**

**SIVUTUOTTEIDEN ENERGIÄKÄYTTÖ MEKAANISEN  
METSÄTEOLLISUUDEN YRITYKSISSÄ**

**Opinnäytetyö**

**KESKI-POHJANMAAN AMMATTIKORKEAKOULU**

**Puutekniikan koulutusohjelma**

**Toukokuu 2012**



## TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

<b>Yksikkö</b> Ylivieska	<b>Aika</b> Toukokuu 2012	<b>Tekijä/tekijät</b> Vesa Honkimäki
<b>Koulutusohjelma</b> Puutekniikka		
<b>Työn nimi</b> SIVUTUOTTEIDEN ENERGIÄKÄYTTÖ MEKAANISEN METSÄTEOLLISUUDEN YRITYKSISSÄ		
<b>Työn ohjaajat</b> Kaija Arhio ja Yrjö Muilu		<b>Sivumäärä</b> 51 + 5
<b>Työelämäohjaaja</b>		
<p>Tämä opinnäytetyö sai alkunsa sen tekijän omasta ideasta ja aloitteesta.</p> <p>Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää Oulun Eteläisen ja Keski-Pohjanmaan alueiden mekaanisen metsäteollisuuden yritysten sivutuotteiden hyötykäyttöä ja sen kannattavuutta. Selvityksen painopiste oli erityisesti sivutuotteiden energiakäytössä yritysten omissa lämpölaitoksissa. Samalla otettiin kuitenkin huomioon myös sivutuotteiden myynti energiantuotannon poltto- tai raaka-aineiksi. Tämän lisäksi haluttiin selvittää yritysten mielipiteitä sivutuotteiden energiakäyttöön liittyen sekä yritysten innokkuutta sivutuotteiden energiakäytön aloittamiseen tai tehostamiseen. Myös yritysten tietojen riittävyyttä sivutuotteiden hyöty- ja energiakäytön mahdollisuuksien suhteen pyrittiin selvittämään.</p> <p>Tutkimuksen aineisto kerättiin Internet-pohjaisella kyselylomakkeella ja tulosten analysoinnin apuna käytettiin taulukkolaskentaohjelmaa. Kyselyn lisäksi suoritettiin yksi haastattelu tutkimuksen aihepiiriin liittyen.</p> <p>Tutkimuksen tulosten perusteella pystyttiin suuntaa antavasti toteamaan, että hyvin monenlaiset yritykset hyödyntävät sivutuotteitaan yritysten omissa lämpölaitoksissa. Myös sivutuotteiden myynti energiateollisuuteen on yleistä. Tutkimuksen perusteella vaikuttaisi, että yrityksillä on hyvin tietoa sivutuotteiden energia- ja hyötykäytön mahdollisuuksista. Sivutuotteiden energiakäyttöä pidettiin pääosin kannattavana.</p>		
<b>Asiasanat</b> energiakäyttö, hyötykäyttö, kyselytutkimus, poltto, polttoaineet, sivutuotteet		

**ABSTRACT**

<b>CENTRAL OSTROBOTHNIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES</b>	<b>Date</b> May 2012	<b>Author</b> Vesa Honkimäki
<b>Degree programme</b> Wood technology		
<b>Name of thesis</b> THE ENERGY UTILIZATION OF BY-PRODUCTS IN COMPANIES OF MECHANICAL FOREST INDUSTRY		
<b>Instructors</b> Kaija Arhio and Yrjö Muilu		<b>Pages</b> 51 + 5
<b>Supervisor</b>		
<p>This thesis was born of the idea and initiative of its author.</p> <p>The main goal of this study was to examine the utilization of by-products and its profitability in the companies of mechanical forest industry in the areas of Oulu South region and Central Ostrobothnia. The focus of the study was on the energy utilization of by-products in the companies' own heating plants. Selling of by-products to energy industry as fuel or raw material was also taken into account in the study. In addition, the aim was to find out the companies' opinions concerning energy utilization of by-products as well as their willingness to start or boost the energy utilization of their by-products. The sufficiency of knowledge that the companies had of the possibilities of utilization and energy utilization of by-products was also examined.</p> <p>The material for the study was acquired with an Internet based survey form and the analysis of the results was carried out with the help of a spreadsheet program. In addition to the survey, one interview concerning the study's theme was conducted.</p> <p>Based on the results of the study it can indicatively be stated that a wide variety of companies utilize their by-products in their own heating plants. It can also be said that selling of by-products to energy industry is common. The results of the study suggest that the companies have good knowledge of the possibilities of energy utilization and other utilization of by-products. The energy utilization of by-products was mainly considered profitable.</p>		
<b>Key words</b> burning, energy utilization, fuels, by-products, survey, utilization		

## KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

Energiatiheys	Aineeseen varastoituneen energian määrä tiettyä tilavuusyksikköä kohden. Yleensä MWh/m <sup>3</sup> . Kuvaa samaa asiaa kuin lämpöarvo.
Kuiva-aine	Täysin kuiva polttoaine. Kuiva-aineen massalla $m_{ka}$ tarkoitetaan täysin kuivan polttoaineen palavien ja palamattomien ainesosien massaa ja sitä käytetään vertaillessa polttoaineita.
Lämpöarvo, Q	Palamisessa syntyvän lämpöenergian määrä polttoaineen massaa kohti. Ilmoitetaan usein MJ/kg. Yleisimmin käytetään niin sanottua alempaa lämpöarvoa eli tehollista lämpöarvoa, joka kuvaa lämpöenergian määrää, joka syntyy poltettaessa massayksikkö polttoainetta, ja josta vähennetään polttoaineen sisältämän ja polttamisen aikana syntyvän veden höyrystämiseen kuluva energia. Se ilmoitetaan useimmiten kuivana tai saapumistilassa eli -kosteudessa.
Tiiviys	Puupolttoaineiden kiinto- ja irtotilavuuden suhde. Hakkeelle m <sup>3</sup> /i-m <sup>3</sup> (i-m <sup>3</sup> = irtokuutiometri) ja pilkkeelle m <sup>3</sup> /p-m <sup>3</sup> (p-m <sup>3</sup> = pinokuutiometri).
Viskositeetti	Kuvaa lämpötilan mukaan muuttuvaa lämmitysöljyn juoksevuutta. Yksikkö mm <sup>2</sup> /s. Öljyn juoksevuus heikkenee, kun sen lämpötila alenee.

## **ESIPUHE**

Haluaisin esittää kiitokseni opinnäytetyöni ohjaajille puutekniikan yliopettajalle kauppatieteiden tohtori Kaija Arhiolle sekä energiatekniikan lehtorille diplomi-insinööri Yrjö Muilulle. Haluaisin myös kiittää opinnäytetyöni yhteydessä haastattelemaani Kanteleen Voima Oy:n hankintapäällikköä Juha Ollilaa.

Lisäksi kiitokseni saavat ja ansaitsevat kaikki ammattikorkeakoulun yhteydessä toimivat henkilöt sekä ystäväni ja perheenjäseneni, jotka ovat auttaneet ja tukeneet minua tämän opinnäytetyön tekemisessä tai muutoin opintojeni aikana.

Alun lopuksi vielä mietelause:

Vaikka menisit aina sieltä, mistä aita on matalin, saatat toisinaan kompastua, ellet vahdi jalkojasi.

Haapavedellä 12.5.2012,  
Vesa Honkimäki

**TIIVISTELMÄ**  
**ABSTRACT**  
**KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY**  
**ESIPUHE**  
**SISÄLLYS**

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>1</b>
<b>2 SIVUTUOTTEET JA NIIDEN ENERGIAKÄYTTÖ</b>	<b>3</b>
2.1 Puu polttoaineena	3
2.2 Kuori	4
2.3 Hake	6
2.4 Sahanpuru	8
2.5 Kutterinlastu	8
2.6 Muut sivutuotteet	9
2.7 Puupelletit ja -brikitit	10
2.8 Vertailu muihin polttoaineisiin	10
2.8.1 Metsähake	13
2.8.2 Turve	15
2.8.3 Poltto- ja bioöljyt	17
2.9 Seospoltto ja rinnakkaispoltto	19
<b>3 KIINTEIDEN POLTTOAINEIDEN POLTTOTEKNIikka</b>	<b>20</b>
3.1 Kiinteiden polttoaineiden palaminen	20
3.2 Yleiset polttotekniikat puulle	21
3.2.1 Ylä-, ala- ja käänteispalokattilat	21
3.2.2 Stokeripolttimet	22
3.2.3 Arinapoltto	22
3.2.4 Leijukerrospoltto	23
3.2.5 Muita tekniikoita	23
3.3 Yhdistetty lämmön- ja sähköntuotanto	24
<b>4 KYSELYLOMAKKEEN LAATIMINEN</b>	<b>27</b>
4.1 Lomakkeen ulkoasu ja rakenne	27
4.2 Kysymykset	27
4.3 Lomakkeen testaus	30
<b>5 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS</b>	<b>32</b>
5.1 Lähtökohdat, tavoitteet ja toteutuksen suunnittelu	32
5.2 Kohderyhmä	33
5.3 Kyselyn toteutus	34
5.4 Haastattelu	35
<b>6 TUTKIMUKSEN TULOKSET</b>	<b>36</b>
6.1 Vastausprosentti ja vastaajat	36
6.2 Toimipisteen lämmitys ja energia	38
6.3 Sivutuotteiden energia- ja hyötykäyttö	40
6.4 Haastattelun antia	43

<b>7 YHTEENVETO TUTKIMUKSESTA</b>	<b>45</b>
<b>7.1 Johtopäätökset</b>	<b>45</b>
<b>7.2 Oma oppiminen</b>	<b>47</b>
 <b>LÄHTEET</b>	 <b>49</b>
<b>LIITTEET</b>	
 <b>KUVIOT</b>	
KUVIO 1. Vastaajajaritysten pääasiallinen mekaanisen metsäteollisuuden ala	36
KUVIO 2. Vastaajajaritysten liikevaihdon jakautuminen	37
KUVIO 3. Vastaajajaritysten työntekijöiden määrän jakautuminen	37
KUVIO 4. Toimipistekohtaisten lämmitettävien tuotantotilojen jakaantuminen	38
KUVIO 5. Polttoaineena käytettyjen sivutuotteiden osuudet	39
KUVIO 6. Sivutuotteiden myyntikohteiden osuudet	40
KUVIO 7. Oman lämpölaitoksen rakentamisen ja sivutuotteiden polttamisen aloittamisen parhaita puolia	41
KUVIO 8. Oman lämpölaitoksen rakentamisen ja sivutuotteiden polttamisen aloittamisen huonoimpia puolia	42
 <b>TAULUKOT</b>	
TAULUKKO 1. Polttoaineiden lämpöarvo ja kosteus eri polttoaineille	11
TAULUKKO 2. Polttoaineiden irtotiheys, energiatiheys ja tuhkapitoisuus eri polttoaineille	12
TAULUKKO 3. Lämpöenergian hintoja loppuvuodesta 2011	13

## 1 JOHDANTO

Olin vuonna 2011 kesätoissa Haapavedellä sijaitsevassa Kanteleen Voima Oy:n turvevoimalaitoksessa. Vaikka työni oli pääasiassa tietokoneella, CAD-ohjelmistoilla tehtävään suunnittelutyötä, niin pääsin samalla tutustumaan voimalaitoksen, osittain jo aiemminkin minulle tuttuun, toimintaan. Kyseisen voimalaitoksen pääasiallisena polttoaineena toimii turve, mutta sen kanssa seospolttoaineena voimalaitoksella käytetään enenevässä määrin puuperäisiä biopolttoaineita. Vaikka pääosa näistä puuperäisistä polttoaineista koostuu metsäpolttoaineista, niin pieni osa niistä on myös mekaanisen metsäteollisuuden sivutuotteita eli tuotannosta päätuotteen lisäksi syntyviä tuotteita.

Alkuvuodesta 2012 tuli aika aloittaa opinnäytetyön suunnittelu. Edellisen kesän kokemukset energia-alalta saivat minut miettimään sitä, miten suuressa määrin puualan yritykset hyödyntävät sivutuotteitaan nimenomaan energiantuotantoon. Minulla itselläni ei ollut selvää käsitystä puualan yritysten sivutuotteiden energiakäytön yleisyydestä, vaikka osana puutekniikan opintojani olin aiheeseen päässyt teoriallasella ja joidenkin yritysvierailujen yhteydessä tutustumaan. Pikaisesti aihepiiriä tutkien tulin siihen lopputulokseen, että selvää tietoa saati sitten tutkimusaineistoa nimenomaan mekaanisen metsäteollisuuden sivutuotteiden energiakäytöstä ei ollut käytännössä ollenkaan saatavilla. Tällöin mielessäni heräsi ajatus siitä, että voisin opinnäytetyönäni tehdä selvityksen kyseisestä asiasta kyselytutkimuksen muodossa.

Tutkimukseni kohderyhmä oli nimenomaan mekaanisen metsäteollisuuden eli puutuoteteollisuuden yritykset. Mekaanisen metsäteollisuuden piiriin kuuluvat kaikki teollisessa mitataavassa puuraaka-aineita pääasiassa mekaanisin keinoin jalostavat tai tuotteistavat yritykset. Sen osa-aloja ovat muiden muassa huonekaluteollisuus, rakennuspuusepänteollisuus ja sahateollisuus. Kyselyn kohdealueiksi valikoituivat ammattikorkeakouluni lähialueet eli Oulun Eteläinen ja Keski-Pohjanmaa.

Kehittämistehtävänä tutkimuksessani oli mekaanisen metsäteollisuuden sivutuotteiden energiakäyttöön liittyvän epätietoisuuden tai tiedonpuutteen poistaminen sekä itseltäni että muilta alan parissa toimivilta henkilöiltä ja yhteisöiltä. Tutkimuksen tärkeimpänä tavoit-



teena oli selvittää sivutuotteiden hyötykäyttöä ja sen kannattavuutta keskittyen etenkin sivutuotteiden energiakäyttöön. Tutkimuksella pyrin siis saamaan selvyyttä muun muassa siihen, kuinka useat ja minkä tyyppiset mekaanisen metsäteollisuuden yritykset hyödyntävät sivutuotteitaan toimipisteidensä omissa lämpölaitoksissa, ja miten yleistä on sivutuotteiden myynti energiateollisuuden toimijoille. Näiden asioiden lisäksi halusin selvittää alan yritysten mielipiteitä sivutuotteiden energiakäyttöön liittyen.

Opinnäytetyöni jakautuu neljään osaan, jotka ovat teoriaosa, tutkimusmenetelmien kuvaus, tutkimuksen tulokset ja yhteenveto. Teoriaosiossa eli tietoperustassa kerrotaan laajasti mekaanisen metsäteollisuuden eri sivutuotteista ja niiden energiaominaisuuksista, vertaillaan sivutuotteita muihin polttoaineisiin, esitellään tiivistetysti puuperäisten kiinteiden polttoaineiden polttotekniikkaa ja valotetaan hyvän kyselylomakkeen laatimisen saloja. Teoriaosion jälkeen opinnäytetyössäni on esitelty tutkimuksen toteutus ja tulokset sekä tuloksista vedetyt johtopäätökset ja yhteenveto omasta oppimisesta.

Tutkimuksen kirjallisuuslähteistä merkittävimpinä voidaan nimetä Kirsi Knuuttilan toimitama Puuenergia ja Tarja Heikkilän kirjoittama Tilastollinen tutkimus. Käytössäni oli myös erinomaisia, tutkimuksen aihepiiriin sopivia sähköisiä lähteitä, joista maininnan arvoisia ovat muiden muassa Eija Alakankaan Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia sekä Maa- ja metsätalousministeriön bioenergia.fi Internet-sivusto.

## 2 SIVUTUOTTEET JA NIIDEN ENERGIAKÄYTTÖ

Mekaanisessa metsäteollisuudessa syntyy hyvin monenlaisia sivutuotteita, joista suurin osa on puuperäisiä. Energiakäyttö, eli hyödyntäminen energian tuotannossa, on yksi varteen- otettavimmista sivutuotteiden hyötykäytön muodoista. Tässä luvussa kerrotaan ensin yleisesti puun poltto-ominaisuuksista ja sen jälkeen perehdytään hieman tarkemmin mekaanisen metsäteollisuuden eri sivutuotteisiin sekä niiden syntyyn, hyödyntämiseen ja energia- käytön kannalta merkittäviin ominaisuuksiin. Tässä yhteydessä käsitellään myös sivutuot- teiden jatkojalosteita, puupellettejä ja -brikettejä. Luvun loppupuolella vertaillaan vielä mekaanisen metsäteollisuuden sivutuotteita muihin polttoaineisiin ja kerrotaan lyhyesti polttoaineiden seos- ja rinnakkaispoltosta.

### 2.1 Puu polttoaineena

Puu koostuu pääasiassa selluloosasta, hemiselluloosista ja ligniinistä. Sen lisäksi puussa on uuteaineina rasva-aineita, terpeenejä ja fenoleja. Alkuainetasolla puuaineksen kuiva- aineesta noin 99 % muodostuu hapesta, hiilestä ja vedystä. Näiden lisäksi se sisältää haih- tuvina aineina typpeä (alle 0,2 %) ja rikkiä (alle 0,05 %) sekä tuhkaa muodostavia mineraa- liaineita kuten kalsiumia, fosforia, kaliumia ja magnesiumia. Haitallisia aineita kuten kloo- ria ja raskasmetalleja varsinaisessa puuaineksessa on vain vähän. (Alakangas 2000, 35–36; Hakkila 2003a, 2003b.)

Puuta poltettaessa palavat haihtuvat aineet (vety, hiili, typpi ja rikki) ja kiinteä hiili. Haih- tuvien aineiden osuus puun kuiva-aineesta on noin 84–85 % ja kiinteän hiilen 11,4–15,6 %. Haihtuvien aineiden suuren määrän takia puu on polttoaineena pitkäliekkinen. (Alakangas 2000, 35–36.)

Polttamisesta jäljelle jäävän tuhkan osuus puun kuiva-aineesta on keskimäärin vain noin 0,5 %. Puun tuhka alkaa sintraantua hieman vajaan tuhannen celsiusasteen lämpötilassa. Sen muodonmuutospiste on noin 1150–1490 °C ja pehmenemispiste noin 1180–1525 °C.

Tuhkan puolipallopiste on noin 1230–1650 °C ja sen juoksevuuspiste on noin 1250–1580 °C. Nämä lämpötilat on otettava huomioon, kun valitaan puupolttoaineen polttotekniikkaa. (Alakangas 2000, 35–38.)

Kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo puuaineksella sijoittuu välille 18,3–20,0 MJ/kg suurempien puiden lämpöarvon ollessa yleensä hieman matalampi kuin pienempien. Puu ei kuitenkaan ole käytännössä koskaan täysin kuivaa, joten osa saatavasta energiasta tuhlaantuu kosteuden poistamiseen puusta. Puuaineksen kosteus vaihtelee yleensä tuoreen puun noin 40–60 %:sta kuivatun, puusepäнкуivan puun 5–7 %:iin. Polttamisen suhteen puun kosteudella on merkitystä sekä käytettävän polttotekniikan että varastointisäilyvyyden kannalta. Kosteampi puupolttoaine sopii vain suurempiin laitoksiin, kun taas esimerkiksi alle 1 MW tehoisessa haketta polttavassa laitoksessa polttoaineen kosteuden tulisi olla korkeintaan 40 %. Puolen vuoden varastoinnissa kosteudeltaan 20 % olevan hakkeen lämpöarvo pienenee muutaman prosentin, mutta kosteuden ollessa 40 % lämpöarvo voi pienentyä jopa yli 10 %. (Alakangas 2000, 39–42; Takko 2006.)

Puu on polttoaineena niin sanotusti hiilidioksidineutraali, koska puun vuosittaisessa kasvussa sitoutuvan hiilidioksidin määrä on suurempi kuin puupolttoaineiden tuotannossa ja käytössä vapautuvan hiilidioksidin määrä. Hallitusten välinen ilmastonmuutospaneeli eli IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) onkin sopinut puupolttoaineiden käytön laskennalliseksi hiilidioksidin nettopäästökseksi arvon nolla. (Alakangas & Selin 2004, 11.)

## 2.2 Kuori

Puun kuori koostuu kahdesta osasta. Sen ulko-osana, niin sanottuna ulkokuorena, on kaarina tai tuohi ja sisäosana eli sisäkuorena nila. (Alakangas 2000, 65.)

Sivutuotteena puun kuorta syntyy pääasiassa saha- ja vaneriteollisuudessa, kun tukeista poistetaan kuori ensimmäisenä työstövaiheena. Kuorta voi syntyä myös esimerkiksi lastulevy- ja hirsitaloteollisuuden sivutuotteena riippuen siitä aloitetaanko niissä tuotanto kuorellisesta puusta vai ei.

Puun kuorinta pyritään suorittamaan niin, että kuori saadaan tarkasti pois puun jälsikerrosta pitkin ilman suurta puuhukkaa. Kuoren poiston pääasiallisina tavoitteina on myöhemmin tuotannossa syntyvien sivutuotteiden ja tuotteiden laadun varmistaminen sekä kuoressa mahdollisesti olevien hiekkamaisten aineiden aiheuttaman tuotannon myöhempien vaiheiden laitteiden, kuten sahojen ja sorvien, terien kulumisen vähentäminen (Pellinen 1996, 15–17).

Kuoren osuus kuorellisesta tukkipuusta on jopa 10–12 %. Kuoren määrä riippuu mm. tukkien kuljetus- ja varastointitavoista, joissa etenkin vesikontakti pienentää kuoren määrää. Esimerkiksi ennen vanhaan käytetty uitto sekä vesivarastointi saattavat puolittaa tukeissa olevan kuoren määrän. (Sipi 2006, 191–192.)

Vanerilevytuotannossa kuoren, kuten muidenkin sivutuotteiden, määrä on suhteellisesti varsin merkittävä, koska sitä voi syntyä tuotannossa noin jopa 40 % varsinaisen tuotteen eli vanerin määrästä. (Koponen 2005, 83.)

Kuori käytetään lähes yksinomaan polttoaineena energiantuotannossa, mutta siitä voidaan humustamalla tehdä myös maanparannusainetta (Sipi 2006, 193). Myös kuorihakkeen käyttö esimerkiksi puutarhojen katemateriaalina on yleistä.

Kuoren lämpöarvo on yleensä muuta puuta suurempi sen runsaan ligniinipitoisuuden takia. Lämpöarvo kuitenkin vaihtelee suuresti eri puulajien välillä ollen yleensä suurempi lehti- kuin havupuilla. Lehtipuiden ulkokuoren kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo voi olla 20–32 MJ/kg, kun esim. männyn kuorella se jää 20 MJ/kg:n tuntumaan. Kuoren alhainen kuiva-ainetiheys saa aikaan sen, että vaikka esimerkiksi ensiharvennusmännyn kuoren kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo on suurempi kuin vastaavan puuaineksen (kuorelle 19,53 MJ/kg ja kuorettomalle puuainekselle 19,31 MJ/kg), niin 50 % kosteudessa puuaineen energiatiheys on parempi ollen 1,86 MWh/m<sup>3</sup>, kun se on kuorella vain 1,26 MWh/m<sup>3</sup>. (Alakangas 2000, 62–68.)

Kuoren suuri kosteus on ongelma poltossa. Kuoren polton kannattavuuden alarajana voi pitää kuiva-ainepitoisuutta 35 %. Polton kannattavuus kasvaa nopeasti lähestyttäessä kuiva-ainepitoisuutta 60–70 %, mutta kasvu hidastuu varsin nopeasti tämän pitoisuuden jälkeen. Kuoren kosteutta voidaan laskea muun muassa puristamalla, mutta ainakin havupuil-

la voidaan kuorta joutua kuivaamaan jätelämmöllä tai savukaasuilla, jos pyritään yli 40 %:n kuiva-ainepitoisuuteen. Kuoren joukkoon voidaan sekoittaa esimerkiksi kutterinlastua parantamaan sen lämpöarvoa. (Alakangas 2000, 66; Sipi 2006, 199.)

Toisena ongelmana kuoren poltossa, ainakin verrattuna runkopuun muun aineksen polttamiseen, on se, että kuoren tuhkapitoisuus on suurempi kuin muulla puuaineksella. Männyllä ja koivulla tuhkapitoisuus kuiva-aineessa painoprosentteina on noin 1,6–1,7 % ja kuusella jopa noin 2,8 %. (Alakangas 2000, 38 & 66.)

### 2.3 Hake

Mekaanisen metsäteollisuuden sivutuotteista puhuttaessa hakkeen voisi määritellä olevan puuainesta, joka on haketettu tai murskattu pienehköiksi palasiksi. Määritelmän epämääräisyydestä voi jo päätellä, että haketta saadaan hyvin monesta eri lähteestä. Polttohakepalalle on tavallisesti määritelty 30–40 mm:n tavoitepituus (Alakangas 2000, 48).

Lähestulkoon kaikilta mekaanisen metsäteollisuuden aloilta voi syntyä haketta. Sahateollisuudesta haketta saadaan mm. pyörösievennyksessä, käytettäessä pelkkahakkureita sekä särmä- ja profiilikursoja tai hakettamalla sahauksissa ja särmäyksissä syntyneitä hukkapalasia sekä kuivauksessa vioittuneita kappaleita (Sipi 2006, 191). Myös kaikilla muilla mekaanisen metsäteollisuuden aloilla syntyy jotain puutähdettä, kuten puun tai puulevyn katkonta ja tasauspätkiä, viilu- ja vanerijätettä tai vioittuneita puuaineesta olevia kappaleita, jotka on mahdollista hakettaa.

Sahateollisuudessa hakkeen saanto kuorellisesta tukista on noin 28–32 % (Sipi 2006, 191). Hakkeen määrä on yleensä sitä suurempi, mitä täysisärmäisempään sahatavaraan pyritään (Sipi 2006, 191). Muilla aloilla mahdollisesti saatavan hakkeen määrä vaihtelee suuresti sen mukaan kuinka pieneksi materiaalihukka on saatu.

Hakkeen kannattavinta hyötykäyttöä on myyminen puumassateollisuuteen. Hake käy puumassateollisuuden raaka-aineeksi vain, jos se on valmistettu tuoreesta, kuoritusta männystä tai kuusesta eikä se sisällä epäpuhtauksia. Sen täytyy olla seulottua: Paksuudeltaan sellu-

hakkeen tulee olla alle 8 mm ja pituudeltaan 7–45 mm. 3–7 mm pitkää tikkuhaketta ja yli 8 mm paksua haketta saa koko hakemäärästä olla 5 %, mutta niistä ei makseta täyttä hintaa. Selluhakkeen hintaan vaikuttaa myös hakkeessa olevan kuoren määrä. Täysi hinta maksetaan vain, jos kuoren kuivamassan suhde koko hake-erän kuivamassaan (kuori mukaan luettuna) on alle 1 %. Yli 3 %:n kuoripitoisuus laskee hakkeen hinnan polttihakkeen tasolle. Puumassateollisuuden hyväksymää haketta syntyy pääasiassa saha- ja vaneriteollisuudessa. (Sipi 2006, 191–197).

Haketta voidaan hyödyntää myös lastu- ja kuitulevyteollisuudessa, jolloin hakkeen laatuvaatimuksetkaan eivät ole yhtä tiukat. Hakkeen tulee tällöinkin olla puhdasta, mutta esimerkiksi kuitulevyteollisuuden raaka-ainehakkeen kuoripitoisuus voi olla jopa 45 %. (Pellinen 1996, 18–20; Koponen 2005, 92.)

Haketta käytetään myös katemateriaalina esimerkiksi puutarhoissa tai pinnoitteena niin sanotuilla pururadoilla. Näihin tarkoituksiin soveltuu tosin heikompilaatuinen kuori- tai metsätähdehake, joten pääasiallisen sivutuotehakkeen osalta nämä eivät varmastikaan ole kovin merkittäviä käyttökohteita. Polttoaineena käytettävän sivutuotehakkeen määrää vähentävät oletettavasti sen muut käyttökohteet ja etenkin selluhakkeesta maksettava hinta. Myös metsänhakkuutähteistä saatavan polttihakkeen runsauden voisi olettaa vähentävän sivutuotehakkeen käyttöä polttoaineena.

Hakkeen poltto-ominaisuuksiin vaikuttaa eniten se, mistä jalostuksen vaiheesta haketettu materiaali on peräisin. Esimerkiksi tuoreesta puusta olevan, märän sahanhakkeen kosteusprosentti on noin 50–55 %, kun se kuivatulla puutähdehakkeella voi kuivausasteesta riippuen olla jopa niinkin alhainen kuin 5–15 %. Kosteus vaikuttaa suoraan hakkeesta saatavaan energian määrään. Esimerkiksi hakkeen kosteuden vaihdellessa 10 %:sta 60 %:iin, sen tehollinen lämpöarvo vaihtelee välillä 6–17 MJ/kg, kun sen kuivamassan tehollinen lämpöarvo puolestaan lähentelee 19–20 MJ/kg. Myös tiiveys ( $\text{m}^3/\text{i-m}^3$ ), eli se kuinka monta kiintokuutiota haketta on irtokuutiossa, on merkittävä tekijä hakkeen kohdalla. Hakkeen tiiveyteen vaikuttaa muun muassa palakoko, palan muoto, haketusmenetelmä, kosteus ja painuminen. (Alakangas 2000, 41–63; Tilastokeskus 2010.)

## 2.4 Sahanpuru

Sahanpurulla tai purulla tarkoitetaan sahatessa syntyvää, verrattain hienoa puuainesta. Näin ollen purua syntyy lähes jokaisella mekaanisen metsäteollisuuden alalla. Varsinaista sahanpurua tulee, nimensä mukaan, suurimmat määrät sahoilta, joilla sivutuotteena syntyvän purun osuus kuorellisesta tukkiraaka-aineesta on noin 10–15 % (Sipi 2006, 191).

Sahanpurun merkittävimmät hyötykäyttökohteet ovat puumassateollisuus, levyteollisuus ja energiantuotanto, joissa kaikissa ainakin sahateollisuudesta tulevaa purua käytetään suurin piirtein yhtä paljon. Käyttökohde riippuu hakkeen tavoin esimerkiksi kuoren osuudesta sahanpurussa, mutta myös purun raakoosta. (Sipi 2006, 193–198.) Kuten haketta myös purua käytetään katemateriaalina istutuksien juurella sekä pururatojen pinnoitteena. Myös kuivan purun käyttö kuivikkeena esimerkiksi eläinten elintiloissa on yleistä.

Sahanpurun kosteus vaihtelee suuresti hakkeen kosteuden tavoin. Se voi olla mitä vain noin 5 %:sta aina 70 %:iin. Kosteus ei kuitenkaan yleensä ole haittaavalla tasolla, kun sahanpurua poltetaan vähäisessä määrin, yhdessä muiden polttoaineiden kanssa. Sahanpurun energiatiheys on tyypillisesti vain noin 0,4–0,7 MWh/i-m<sup>3</sup>. Sahanpurua voidaan käyttää pellettien ja brikettien raaka-aineena, jolloin sen lämpöarvo ja energiatiheys saadaan paremmaksi. (Alakangas 2000, 41 & 69.)

## 2.5 Kutterinlastu

Kutterinlastua, eli höylänlastua, saadaan puun höyläyksen seurauksena. Sitä syntyykin hyvin useilla mekaanisen metsäteollisuuden aloilla, eritoten tietysti höyläämöissä. Sitä käytetään purun tavoin kuivikkeena esimerkiksi hevostalleilla. Energiakäytössä sitä voidaan polttaa tai jatkojalostaa pelleteiksi ja briketeiksi (Alakangas 2000, 69).

Koska kuivaamattoman puun höyläystä ei harrasteta, niin kutterinlastu on käytännössä aina melko kuivaa. Sen kosteusprosentti vaihteleeikin yleensä noin 5–20 %:n välillä (Alakangas 2000, 41). Kuivana puuaineksena se soveltuukin hyvin polttoon, mutta keveytensä takia se täytyy polttaa sekaisin jonkin raskaamman ja usein myös mäemmän polttoaineen kuten

kuoren kanssa (Alakangas 2000, 69). Keveytensä ja ilmapuutensa takia kutterinlastun energiatiheys on vain 0,5 MWh/i-m<sup>3</sup> (Tyypillisiä polttoaineiden tehollisia lämpöarvoja ja tiheyksiä 2003, 11).

## 2.6 Muut sivutuotteet

Muita yleisiä puuperäisiä sivutuotteita mekaanisen metsäteollisuuden yrityksissä ovat erilaiset hukka- ja jättepalat sekä puu- tai hiomapöly. Jos hukka- ja jättepuuta ei haketeta, voidaan ne myös polttaa sellaisenaan, sopivan kokoisena, kunhan vain lämpökattilan rakenne mahdollistaa isomman irtotavaran syötön ja polton. Niitä voidaan myös myydä sellaisenaan esimerkiksi yksityishenkilöille, mutta näin käytettynä niiden arvo voi jäädä mitättömän pieneksi raaka-aineen hankintahintaan verrattuna (Kivimaa 2006, 9–10). Puupöly voidaan polttaa, hyödyntää uudelleen, kuten esimerkiksi lastulevyteollisuudessa, tai käyttää pellettien ja brikettien raaka-aineena (Alakangas 2000, 74–76; Koponen 2005, 114).

Joillakin mekaanisen metsäteollisuuden aloilla käytetään myös muita puuperäisiä raaka-aineita kuten puukuitueristeitä sekä esimerkiksi pakkauspahveja, joista kaikista voi jäädä jäljelle käyttöön tai uusiokäyttöön sopimattomia paloja. Yleisesti ottaen puuperäiset pakkausmateriaalisivutuotteet voidaan polttaa, kunhan käytettävissä oleva tekniikka vain sen sallii. On kuitenkin hyvä huomioda, että esimerkiksi puukuitueristeissä voi olla käytetty paljon palonestoaineita, joten niitä ei todennäköisesti voi polttaa, vaan ne olisi parasta toimittaa esimerkiksi takaisin valmistajalleen (Turun Seudun Jätehuolto Oy 2012).

Muita kuin puuperäisiä sivutuotteita, esimerkiksi muoveja, ei ole järkevää polttaa. Parempi on pyrkiä mahdollisuuksien mukaan kierrättämään kierrätettävät materiaalit ja toimittamaan loput niille tarkoitettuun loppusijoituspaikkaan kuten ongelmajätelaitokselle, jätteenpolttolaitokselle tai kaatopaikalle.



## 2.7 Puupelletit ja -brikitit

Puupelletit ja -brikitit ovat sivutuotteiden jatkojalosteita. Ne valmistetaan puuaineksesta puristamalla. Puristuksessa puun omat aineet, eritoten ligniini, sitovat puuaineksen yhteen, jolloin erillisiä sideaineita ei yleensä tarvita. Pellettien kohdalla tosin sideaineeksi voidaan lisätä esimerkiksi peruna- tai maissitärkkelystä, mutta tällöinkin sideaineen osuus jää 1–2 %:iin massasta. Pellettien raaka-aineina käytetään esimerkiksi metsä- ja sivutuotehaketta, kuorta, kutterin lastua, hiontapölyä ja muuta puupölyä. Toisinaan puupelletteihin sekoitetaan myös turvetta. Brikkettien raaka-aineina ovat yleensä kutterinlastu, hionta- ja puupöly sekä kuiva sahanpuru. Sekä pellettien että brikkettien tyypillinen kosteus on 10–15 %. (Alakangas 2000, 74–77; Nalkki 2003, 84–87.)

Tyypillinen puupelletti on noin 10–30 mm pitkä, halkaisijaltaan 6–12 mm oleva sylinterimäinen, tai harvemmin neliömäinen, palanen. Valmiin pelletin kosteus on alle 10 % ja irtotiheys raaka-aineesta riippuen noin 600–750 kg/i-m<sup>3</sup>. Saapumistilassaan puupellettien tyypillinen tehollinen lämpöarvo on noin 14–17,5 MJ/kg. Niiden tuhkapitoisuus on 0,3–0,5 %. (Alakangas 2000, 76; Nalkki 2003, 84.)

Tyypillinen puubriketti on sylinterimäinen tai neliömäinen, halkaisijaltaan tai sivun pituudeltaan noin 50–80 -millimetrinen kappale, jonka pituus on 100–200 mm. Puubrikkettien kosteus, irtotiheys, tuhkapitoisuus sekä tehollinen lämpöarvo ovat käytännössä samat puupellettien kanssa. (Alakangas 2000, 74; Nalkki 2003, 87.)

Puupellettien varastoinnissa on hyvä ottaa huomioon, että ne kestävät huonosti kosteutta. Käytännössä tämä tarkoittaa, että pelletit on suojattava sateelta. (Alakangas 2000, 77.)

## 2.8 Vertailu muihin polttoaineisiin

Sivutuotteiden ohella mekaanisen metsäteollisuuden yritysten energiatarpeisiin, etenkin lämmitysenergian tuotantoon voidaan käyttää hyvin monia muitakin polttoaineita. Toiset näistä polttoaineista ovat ominaisuuksiltaan hyvin samankaltaisia sivutuotepolttoaineiden

kanssa, mutta toiset taas poikkeavat niistä todella paljon. Alle oleviin taulukoihin (TAULUKKO 1, TAULUKKO 2 ja TAULUKKO 3) on vertailua varten kerättyä eri polttoaineiden ominaisuuksia ja hintoja. Taulukoiden jälkeen alaluvuissa on kerrottu tarkemmin muutamasta, erityisesti lämmöntuotantoon yleisesti nyt ja tulevaisuudessa käytetyistä polttoaineista.

TAULUKKO 1. Polttoaineiden lämpöarvo ja kosteus eri polttoaineille (mukaillen Alakan-  
gas & Selin 2004, 10)

Polttoaine	Tehollinen lämpöarvo, kWh/kg (kosteus 0%) $q_{p,net,d}$	Kosteus (M)	Tehollinen lämpöarvo, kWh/kg käyttökosteudessa $q_{p,net,ar}$
Kivihiili	7,75	10	6,89
Jyrsinturve	5,81	48,5	2,68
Raskas polttoöljy	11,39 – 11,47	0,3 – 0,5	11,36 – 11,44
Kevyt polttoöljy	10,2 kWh/l	0,01 – 0,02	11,78
Palaturve	5,9	38,9	3,31
Sahanpuru	5,28 – 5,33	45 - 60	0,6 – 2,77
Kuori (koivu)	5,83 – 6,39	45 – 55	2,22 – 3,06
Kuori (havupuu)	5,14 – 5,56	50 - 65	1,38 – 2,50
Vanerihake	5,28 – 5,33	5 – 15	4,44 – 5,00
Puupelletti	5,28 – 5,33	8 – 10	4,67
Rankahake	5,14 – 5,56	40 – 55	1,94 – 3,06
Pilke	5,14 – 5,28	20 – 25	3,72 – 4,03
Metsätähdehake	5,14 – 5,56	50 - 60	1,67 – 2,50
Kokopuuhake	5,14 – 5,56	45 – 55	1,94 – 2,78
Ruokohelpi (kevätkorjattu)	3,60 – 4,86	15 – 20	3,67 – 3,94
Ruokohelpi (syyskorjattu)	4,64 – 4,92	20 – 30	3,06 – 3,81
Olki (silputtu)	4,83	17 – 25	3,44 – 3,89
Kierrätyspolttoaine (REF)	4,72 – 10,28	15 – 35	3,61 – 9,72
Kotitalouden kuivajäte	5,14 – 6,50	25 – 36	3,25 – 4,69

Taulukoista 1 ja 2 käy selvästi ilmi puuperäisten polttoaineiden, ja eritoten joidenkin mekaanisen metsäteollisuuden sivutuotteiden, hyvät ja huonot puolet polttoaineina. Puupolttoaineiden huonona puolena kosteuden vaikutus on selvästi havaittavissa vertailtaessa polttoaineiden kosteuksia ja niiden tehollisia lämpöarvoja eri tiloissa (TAULUKKO 1).

TAULUKKO 2. Polttoaineiden irtotiheys, energiatiheys ja tuhkapitoisuus eri polttoaineille (mukaillen Alakangas & Selin 2004, 10)

Polttoaine	Irtotiheys kg/i-m <sup>3</sup> käyttökosteudessa (BD)	Energiatiheys saapumistilassa E <sub>ar</sub> (MWh/i-m <sup>3</sup> )	Tuhkapitoisuus kuiva-aineessa, % (A)
Kivihiili	-	-	14
Jyrsinturve	340	0,9	5,1
Raskas polttoöljy	920 – 1 020	-	0,4
Kevyt polttoöljy	870	-	0,01
Palaturve	389	1,3	4,5
Sahanpuru	250 – 350	0,45 – 0,70	0,4 – 0,5
Kuori (koivu)	300 – 400	0,6 – 0,9	1,0 – 3,0
Kuori (havupuu)	250 – 350	0,5 – 0,7	1,0 – 3,0
Vanerihake	200 – 300	0,9 – 1,1	0,4 – 0,8
Puupelletti	500 – 650	2,9 – 3,4	0,4 – 0,5
Rankahake	250 – 350	0,7 – 0,9	0,5 – 2,0
Pilke	240 – 320	1,35 – 1,7 MWh/p-m <sup>3</sup>	0,5 – 1,2
Metsätähdehake	250 – 400	0,7 – 0,9	1,0 – 3,0
Kokopuuhake	250 – 350	0,7 – 0,9	1,0 – 2,0
Ruokohelpi (kevätkorjattu)	70	0,3 – 0,4	6,2 – 7,5
Ruokohelpi (syyskorjattu)	80	0,2 – 0,3	5,1 – 7,1
Olki (silputtu)	80	0,3 – 0,4	5
Kierrätyspolttoaine (REF)	150 – 250	0,7 – 1,0	3–7
Kotitalouden kuivajäte	150 – 200	0,7 – 1,0	5,3 – 16,1

Tuhkapitoisuuden pienuus on puuperäisillä polttoaineilla selvin etu verrattuna muihin biopolttoaineisiin sekä myös turpeisiin ja kivihiileen (TAULUKKO 2). On myös tärkeää huomata miten pelletointi parantaa puupolttoaineiden tiheyksiä. Esimerkiksi verrattuna kevyeen polttoöljyyn puuperäisten polttoaineiden tilantarve voi samaa energiamäärää kohden olla yli kaksikymmentäkertainen (kuten tuoreella männyn kuorella), mutta pelletointi pienentää tilantarpeen vain hieman yli kolminkertaiseksi kevytöljyyn nähden (Alakangas & Selin 2004, 2).

Alla olevasta taulukosta (TAULUKKO 3) on nähtävissä, että ainoastaan jyrsinturve on puuperäisiä polttoaineita edullisempaa. Hinnan vuosimuutos on kuitenkin turpeella, kuten muillakin polttoaineilla, puuperäisiä polttoaineita huomattavasti suurempi. Sivutuotetuhakkeen hinnan voi olettaa asettuvan suurin piirtein metsähakkeen hinnan tasolle.

TAULUKKO 3. Lämpöenergian hintoja loppuvuodesta 2011 (mukaillen Tilastokeskus 2012)

Energialähde	<sup>1)</sup> Hinta €/MWh	Vuosimuutos-%
<sup>2)</sup> Kivihiili	31,97	73,4
Maakaasu	44,64	39,9
Metsähake	18,52	1,3
Jyrsinturve	12,83	21,5
<sup>3)</sup> Kevyt polttoöljy	88,70	18,2
<sup>3)</sup> Puupelletti	44,47	4,1

1) Hinnat ilman arvonlisäveroa

2) Hinta ennakollinen

3) Kuluttajahinta

### 2.8.1 Metsähake

Metsähakkeella tarkoitetaan yleensä hakkuutähdehaketta, eli metsätähdehaketta, sekä kokopuu- ja rankahaketta (Alakangas 2000, 48–59). Myös kantohake voitaneen tässä yhteydessä laskea kuuluvaksi metsähakkeisiin.

Sivutuotehakkeen tavoin kosteus on metsähakkeen kriittisin ominaisuus sen polton kannalta, mutta etenkin hakkuutähdehakkeen kohdalla myös esimerkiksi hakkeessa olevan neulas- tai lehtiaineksen määrä vaikuttaa jonkin verran hakkeen polttamiseen (Alakangas 2000, 48–59).

Hakkuutähdehake valmistetaan metsänhakkuissa metsään muuten jäävästä puuaineksesta, kuten latvoista, oksista, oksissa olevista neulasista tai lehdistä sekä esimerkiksi tyvilahon aiheuttamista hylkypölleistä. Hakkuutähdehakkeen valmistuksen kannattavuus on hyvin pitkälti riippuvainen saannosta, joka puolestaan määräytyy etenkin hakkuukohteen ja -tyypin mukaan. Paras saanto on kuusikon päättöhakkuussa, kun taas huonoimmillaan saanto on koivumetsän ensiharvennushakkuussa. Hakkuutähteet voidaan kerätä heti hakkuun tapahduttua tai parin kesäkuukauden jälkeen. Myöhemmin kerättynä hakkuutähteiden saanto on huonompi, mutta niiden kosteus on jopa alle puolet tuorekosteudesta ja suuri osa polttamisessa ongelmia mahdollisesti aiheuttavista neulasista ja lehdistä on varissut hakkuualalle ravinteiksi. (Alakangas 2000, 49–52.)

Kokopuuhake valmistetaan karsimattomista puista, jotka ovat teolliseen käyttöön kelpaamatonta puuta eli hukkarunkopuuta. Rankahake puolestaan valmistetaan karsituista puunrangoista, mutta myös sen raaka-aineena on yleensä hukkarunkopuuta. Koska hukkarunkopuu on pääasiallisesti niin kutsuttua pienpuuta, sen kaataminen suoritetaan usein manuaalisesti metsurin toimesta. (Alakangas 2000, 59–60.)

Kantoja kerätään toisinaan hakkuualueilta. Näin tehdään esimerkiksi silloin, kun hakkuu suoritetaan rakennustyömaalla. Kantojen "hakettaminen" tapahtuu yleensä murskaamalla, koska ne ovat varsin sitkeitä hakettaa. (Alakangas 2000, 67.)

Polttoaineena metsähake on samankaltaista kuin muutkin puupolttoaineet. Merkittävimpana erona muihin puuperäisiin polttoaineisiin voidaan kuitenkin ottaa käsittelyyn viheraineiksen määrä hakkuutähdehakkeessa ja kokopuuhakkeessa. Tuoreesta hakkuutähdestä tehdyn hakkeen neulasosuus voi olla melkein 40 %, kun taas kuivahtaneen hakkuutähdehakkeen neulasosuus on vain noin 10 %. Kun viheraineiksen, eli lehtien ja etenkin neulasten, määrä hakkeessa lisääntyy, kasvaa samalla myös tuhkan määrä, joka voikin hakkuutähdehakkeella nousta jopa 5 %:iin. Viheraines, joka kannattaisi mieluiten jättää metsään kasvuravinteeksi, myös alentaa tuhkan sulamislämpötilaa ja lisää polttoaineen klooripitoisuutta. Molemmat näistä viherainesosuuden suuruuden aiheuttamista lieveilmiöistä vaikeuttavat polttoa suurempitehoisissa, korkean polttolämpötilan laitoksissa, koska tuhka sintraantuu yhteen tai sulaa, ja koska kloori voi aiheuttaa höyrykattiloissa kuumakorroosiota, kun höyryn lämpötila nousee yli 480 celsiusasteen. (Alakangas 2000, 52–59.)

Myös kosteus aiheuttaa metsähakkeilla ongelmia poltossa, koska keruuajankohdasta riippuen kosteus voi olla mitä vain 20 %:n (kesällä) ja 65 %:n (talvella) väliltä. Etenkin talvella tuotetun kostean hakkuutähdehakkeen käyttö ainoana polttoaineena on usein mahdotonta, mutta kuivempina aikoina tuotettu metsätähdehake ei, kuten eivät muutkaan metsähakkeet, välttämättä tarvitse joukkoonsa seospolttoainetta. (Alakangas 2000, 52–62.)

### 2.8.2 Turve

Turpeella tarkoitetaan orgaanista materiaalia, joka on muodostunut kerroksittain maatuoneesta kasviaineksesta runsasvetisessä ja vähähappisessa ympäristössä (U.S. Geological Survey 2012.) Se on hitaasti uusiutuva luonnonvara. Energian tuotantoon tarkoitettuja turpeita, eli energiaturpeita, on kahta eri tyyppiä, jyrsin- ja palaturvetta, jotka erotetaan toisistaan turpeen keräysmenetelmän mukaan (Alakangas 2000, 85–87). Tällä hetkellä ympäristöministerinä toimiva Ville Niinistö on useaan otteeseen kritisoinut mediassa turpeen energiakäyttöä etenkin turvetuotannon vesistö päästöjen osalta. Turvetuotannon vesistö päästöt eivät todellisuudessa kuitenkaan ole tuotantotilaisella turvesuolla muun muassa valvonnan ja ympäristölupavaatimusten takia erityisen merkittäviä (Turveteollisuusliitto ry 2012).

Sekä jyrsin- että palaturpeen tuotanto alkaa ojitetulta suolta. Kaukolämpö- ja voimalaitoksissa käytettävän jyrsin turpeen keräämisen vaiheet ovat jyrshintä, turpeen kääntäminen, karheaminen ja kokoaminen. Jyrsinnessä turvesuon pinnasta irrotetaan hienohkoa (raekoko 5–10 mm) turvetta noin 10–40 mm:n kerros. Sitten jyrsin turve kuivataan kääntämällä sitä auringossa. Jyrsin turve karhetaan penkereeksi saran keskelle joko ennen kokoamista tai sen yhteydessä. Kokoaminen tapahtuu käytetystä menetelmästä riippuen esimerkiksi kuormaajalla tai imuvaunulla. Lopuksi kerätty jyrsin turve kasataan aumoihin, jotka voidaan peittää muovilla turpeen säilyvyyden parantamiseksi. (Alakangas 2000, 85–86; Virtuaalisuo 2007a.)

Palaturpeen tuotannossakin suoritetaan ensin jyrshintä, mutta siinä jyrsiminen tapahtuu nostoruuvilla tai -kiekolla. Tällöin turve puristuu ja muotoutuu jyrsimen yhteydessä olevan suuttimen avulla halkaisijaltaan noin 40–70 mm:n kokoisiksi, lieriömäisiksi paloiksi tai laineiseksi nauhaksi. Kuivauksen aikana paloja käännetään joskus pari kertaa, mutta karheaminen voidaan suorittaa myös kerran käännetyille tai kääntämättömille paloille, jolloin merkittävä osa kuivumisesta tapahtuu karheen muodossa. Karheamisen ja hihnakuormauksen yhteydessä palojen seasta seulotaan hienoaines pois. Myös palaturve siirretään aumoihin odottamaan kuljetusta käyttökohteeseen. Palaturvetta käytetään energiantuotantoon sekä kiinteistökattiloissa että isommissa kaukolämpö- ja voimalaitoksissa. (Alakangas 2000, 86–87; Virtuaalisuo 2007b.)

Turpeet luokitellaan maatumisasteensa ja kasvilajikoostumuksensa mukaan. Maatumisastetta kuvataan H-arvolla täysin maatumattomasta (H1) täysin maatuneeseen (H10). Kasvilajikoostumukseltaan turve luokitellaan kolmeen pääryhmään ruskosammalturpeisiin (B), saraturpeisiin (C) ja rahkaturpeisiin (S). Sekä turpeen pääryhmä että sen maatumisaste vaikuttavat jonkin verran turpeen koostumukseen. Esimerkiksi rahkaturpeessa on saraturvetta enemmän selluloosaa ja hemiselluloosaa, kun taas ligniinin määrä on saraturpeella suurempi. Esimerkkinä maatumisasteen vaikutuksesta voidaan mainita, että hiilen ja tuhkan määrä turpeessa lisääntyy maatumisasteen kasvaessa, kun samaan aikaan hapen määrä vähenee. (Alakangas 2000, 87–89.)

Haihtuvia aineita turpeessa on puuta vähemmän, noin 65–70 % kuiva-aineen painosta. Hiilen määrä puolestaan on turpeella puuta suurempi sekä kiinteän hiilen (noin 23–31 % kuiva-aineen painosta) että kokonaishiilen osalta. Puuhun verrattuna turve palaakin hitaammin juuri suuren hiilipitoisuutensa takia. Myös turpeen tuhkapitoisuus on puun tuhkapitoisuutta suurempi ollen yleensä noin 5–6 %. (Alakangas 2000, 88–90.)

Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineen osalta, noin 20–23 MJ/kg, on turpeella hieman puuta parempi, mutta myös turpeen kohdalla kosteus laskee poltossa saatavan energia määrää. Jyrsinturpeella, jonka kosteus on keskimäärin 46 %, tehollinen lämpöarvo saapumistilassa on noin 9,6 MJ/kg ja energiatiheys 0,91 MWh/i-m<sup>3</sup>. Vastaava arvot tavallisesti hieman kuivemmalle palaturpeelle (kosteus alle 40 %) ovat 11,8 MJ/kg ja 1,27 MWh/i-m<sup>3</sup>. (Alakangas 2000, 90.)

Kuten puusta, myös turpeesta tehdään brikettejä ja pellettejä. Tämän lisäksi siitä voidaan valmistaa koksia. Energiatuotannon lisäksi turvetta käytetään hyvin monipuolisesti maanparannus- ja kasvatusaineena sekä erilaisina kuivikkeina ja imeytysaineina. (Alakangas 2000, 85; U.S. Geological Survey 2012.)

Puun lailla myös turpeen käytössä ja tuotannossa vuosittain vapautuva hiilen määrä sitoutuu uuden aineksen muodostumiseen. Turpeelle ei kuitenkaan ole myönnetty laskennallista helpotusta hiilidioksidipäästöjen määrään. Turpeen polton hiilidioksidipäästöt ovat vähän yli 100 gCO<sub>2</sub>/MJ, eli samaa luokkaa kuin puulla. (Alakangas & Selin 2004, 11.)

### 2.8.3 Poltto- ja bioöljyt

Polttoöljyt ovat raakaöljystä jalostettuja mineraaliöljyjä. Ne luokitellaan raskaisiin ja kevyisiin polttoöljyihin, joista kummistakin on useita erilaisia versioita. Bioöljyt ovat puolestaan eri eloperäisistä aineksista monin eri menetelmin valmistettuja öljyjä. (Alakangas 2000, 135–138.)

Polttoöljyt jalostetaan pesemällä, tislaamalla, krakkaamalla ja rikkiä poistamalla raaka- eli maaöljystä, joka koostuu vuosimiljoonien aikana orgaanisesta aineksesta maan sisällä muodostuneista erilaisista hiilivedyistä. Raskaat polttoöljyt ovat yleensä kevyitä, pidemmälle jalostettuja polttoöljyjä halvempia. Kevyet polttoöljyt ovat kuitenkin jalostuksella saavutetun juoksevuutensa ansiosta helpompia polttaa ja käsitellä, eivätkä näin ollen vaadi yhtä kalliita polttolaitteita kuin raskaat polttoöljyt. Kevyitä polttoöljyjä käyttävät polttolaitteistot ovat yleensä myös helpompia huoltaa ja käyttää kuin raskaiden polttoöljyjen käyttöön tarkoitettut järjestelmät. Raskaat polttoöljyt vaativat kevytöljyjä tehokkaamman, minimiteholtaan 500–1000 kW:n kattilan. (Alakangas 2000, 135.)

Polttoöljyt ovat polttamisen kannalta ihanteellisia, koska niiden kosteusprosentti liikkuu prosentin murto-osien tasolla. Myös tuhkan määrä polttoöljyissä on mitättömän pieni. Polttoöljyjen hiilipitoisuus puolestaan on erittäin korkea lähestyen 90 %:a. Tehollinen lämpöarvo on polttoöljyillä erinomainen, hieman yli tai alle 40 MJ/kg:n riippuen siitä onko kyseessä raskas vai kevyt polttoöljy. (Alakangas 2000, 136–137; Alakangas & Selin 2004, 10.)

Bioöljyjen raaka-aineina on monia erilaisia kasvi- ja eläinkunnan rasvoja ja muita aineita. Erilaisten bioöljyjen valmistusprosessit eroavat toisistaan usein merkittävästi. Niitä valmistetaan esimerkiksi esteröimällä rasvoja tai pyrolysoimalla puuta. (Alakangas 2000, 138–139; Palo 2009, 4.)

Bioöljyjen käyttö lämmityksessä, eli varsinaisten biopolttoöljyjen käyttö, on Suomessa melko uusi asia. Lämmitysöljyihin biopolttoöljyä ryhdyttiin lisäämään vasta vuonna 2009, mutta tarkoituksena on kuitenkin lisätä sen käyttöä melko nopeasti, niin että vuonna 2016 sen käyttö olisi jo 10 % lämmityksessä käytettävän kevyen polttoöljyn energiamäärästä (Öljjalan Keskusliitto 2012). Suurin kannuste tällaiselle bioöljyjen käytölle on hiilidioksi-



dipäästöjen väheneminen polttoaineen uusiutuvuuden ansiosta (Palo 2009, 5). Näin ollen niiden avulla pyritään saavuttamaan EU:ssa ja kotimaassa asetettujen ilmastollisten ja energiasäästöllisten sopimusten tavoitteet (Öllyalan Keskusliitto 2012).

Kotimaisista bioöljyistä mielenkiintoisia ja lupaavimpia ovat selluteollisuudessa syntyvästä mustalipeästä valmistettava mäntyöljy sekä käytännössä mistä tahansa puusta pyrolyysillä saatava puuöljy (Alakangas 2000, 138–139; Palo 2009, 5). Puuöljyn olisi voinut käsitellä jo mekaanisen metsäteollisuuden sivutuotteiden jatkojalosteiden yhteydessä, mutta neste-mäisen luonteensa takia sen käsittely yhdessä polttoöljyjen kanssa on luontevampaa.

Mäntyöljystä voidaan valmistaa sitä alkoholilla regeneroimalla ominaisuuksiltaan dieseliä ja rypsiä valmistettua biodieseliä vastaavaa polttoainetta, rasvahapon metyyliesteriä. Sen lisäksi mäntyöljyn tuotannossa syntyvää mäntyöljypikeä ja raakamäntyöljyä voidaan sekoittaa polttoöljyyn tai käyttää sen sijasta. Raakamäntyöljyn tehollinen lämpöarvo on noin 36,5–38,5 MJ/kg eli se on lämpöarvoltaan hyvin lähelle kevyen polttoöljyn tasoinen polttoaine. Tuhkan määrä ja polttoaineen kosteus eivät ole ongelma mäntyöljyn tapauksessa, koska niiden molempien osuus on prosentin kymmenysten luokkaa. (Alakangas 2000, 138; Palo 2009, 8.)

Mäntyöljyn käyttöä polttoaineena on hillinnyt sen kannattava käyttö muussa kemianteollisuudessa kuten maalien ja liimojen valmistuksessa. Useimmat muuhun tarkoitukseen kuin polttoaineeksi mäntyöljyä jalostavat yritykset pelkäävätkin että, jos yhteiskunta ohjailee hinnoittelua määrittelemällä mäntyöljyn tähteeksi, niin polttoainetuotantoon ja erityisesti liikennepolttoaineeksi mäntyöljyä jalostavat yritykset syrjäyttävät perinteisen jalostuksen. Tähteeksi määriteltynä mäntyöljy voitaisiin mieltää polttoaineena uusiutuvaksi kahteen kertaan, jolloin se on niin sanotusti tuplalaskutettavissa. (Lundén 2012.)

Puuöljyä valmistetaan puusta lämmittämällä sitä nopeasti noin 500 celsiusasteen lämpötilaan niin, että puun haihtuvat aineet erottuvat kiintoaineesta. Näin puusta irronneet pyrolyysikaasut voidaan lauhduttaa, jolloin kaasut tiivistyvät puuöljyksi. Jäljelle jäävä kiintoaine ja lauhtumattomat kaasut voidaan hyödyntää tuotantoprosessin vaatiman energian tuotantoon. Puuöljyn raaka-aineena voidaan käyttää esimerkiksi metsätähteitä tai sahanpurua. (Alakangas 2000, 139; Palo 2009, 5–6.)

Koska puuöljyn kosteus on polttoaineöljyksi korkea, noin 15–30 %, ja koska se on varsin happipitoista, niin sen tehollinen lämpöarvo käyttökosteudessa jää kauas varsinaisista polttoöljyistä. Verrattuna kiinteään puuhun, puuöljyn tehollinen lämpöarvo käyttökosteudessa, 14–18 MJ/kg, on kuitenkin verrattain korkea ja vastaakin puupellettien lämpöarvoa. Koska puuöljy ei sisällä juurikaan hiilivetyjä vaan muodostuu muun muassa orgaanisista hapoista, se on varsin hapanta (pH 2–3,7) ja aiheuttaa korroosiota happoja kestävämmässä materiaaleissa. Se ei ole stabiilia, joten sen käytössä ja varastoinnissa on otettava huomioon viskositeetin muuttuminen ajan myötä. Puuöljyn tuhkapitoisuus on pieni, mutta hiiltojäännöstä voi jäädä parin prosentin verran. (Alakangas 2000, 139–140; Palo 2009, 5–7.)

## **2.9 Seospoltto ja rinnakkaispoltto**

Seospoltossa useampaa eri polttoainetta poltetaan yhdessä. Näin ollen saadaan hyödynnettyä eri polttoaineiden ominaisuuksia. Esimerkiksi biopolttoaineen kuten puun polttaminen yhdessä kivihiilen kanssa on erinomainen tapa vähentää hiilidioksidin päästöjä. Myös puun ja turpeen seospoltto on hyvin yleistä ja turpeen hyödyntämisellä voidaankin vähentää erityisesti metsähakkeesta aiheutuvia ongelmia kuten kuumakorroosiota. (Alakangas 2000, 58; Orrain 2011, 29–34.)

Rinnakkaispoltto on seospolton erikoistapaus, jossa eri polttoaineille on omat kattilansa. Käytännössä siis biopolttoaineille on oma kattila ja fossiilisille polttoaineelle kuten polttoöljylle omansa (Orrain 2011, 30). Tällainen ratkaisu voi olla tarpeellinen, jos pelkkä biopolttoaineesta saatava energia ei aina riitä tyydyttämään energiantarvetta. Rinnakkaispoltto vaatii huomattavasti enemmän laitteita kuin vain yhden kattilajärjestelmän käyttö, joten alun investointien hinta on korkea (Orrain 2011, 31).

### 3 KIINTEIDEN POLTTOAINEIDEN POLTTOTEKNIikka

Tässä luvussa käsitellään palamista ja polttamisen tekniikkaa. Luvun painopiste on kiinteissä polttoaineissa kuten mekaanisen metsäteollisuuden puuperäisissä sivutuotteissa. Alaluvuissa on kerrottu yleisesti kiinteiden polttoaineiden palamisesta, esitelty erityisesti puuperäisille, kiinteille polttoaineille sopivaa polttotekniikkaa sekä valotettu hieman yhdistettyä lämmön ja sähkön tuotantoa.

#### 3.1 Kiinteiden polttoaineiden palaminen

Palaminen vaatii samanaikaisesti polttoainetta, happea ja riittävän lämpötilan. Kiinteän polttoaineen palamisessa on useita vaiheita, jotka ovat polttoaineen lämpeneminen, kuivuminen, syttyminen, pyrolyysi sekä jäännöshiilen kaasuuntuminen ja palaminen. (Saastamoinen 2002, 186.)

Poltettaessa polttoaine lämpenee ensin, jolloin polttoaineessa oleva vesi höyrystyy, koska lämpötila on palamisolosuhteissa yleensä varsin korkea. Höyrystyminen saa aikaan tilavuuden laajenemisesta aiheutuvan paineen nousun, joka johtaa nopeaan kuivumiseen. Kun kosteus on poistunut, niin polttoaine voi syttyä. (Saastamoinen 2002, 189–192.)

Pyrolyysi, eli lämmön takia tapahtuva kiinteän aineen muuttuminen kaasu- ja tervamaiseksi, alkaa osittain jo ennen kuin polttoaine on syttynyt. Syttyminen tapahtuu joko niin, että kiinteä aine syttyy ja liekki sitten siirtyy pyrolyysituotteisiin, jotka palavat aineen ympärillä (heterogeeninen syttyminen), tai niin, että aineesta irronneet pyrolyysituotteet itse syttyvät aineen ulkopuolella (homogeeninen syttyminen). Pyrolyysin kautta palavat polttoaineen haihtuvat aineet. (Hakkila 2003a, 25; Saastamoinen 2002, 192.)

Jäännöshiilen kaasuuntumisessa ja palamisessa happi tunkeutuu polttoaineeseen diffuusiolla reagoiden jäännöshiilen kanssa. Koska diffuusio on varsinkin suurikokoisten polttoaine-

hiukkasten tapauksessa hidasta, jäännöshiili palaa hitaasti verrattuna haihtuviin aineisiin. (Saastamoinen 2002, 202–205.)

Kuivumista, pyrolyysia sekä jäännöshiilen palamista tapahtuu suurilla polttoainehiukkasilla osittain samanaikaisesti (Saastamoinen 2002, 186). Kun haihtuvat aineet ja jäännöshiili ovat loppuneet, palaminenkin loppuu ja jäljelle jää periaatteessa vain tuhkaa.

## **3.2 Yleiset polttotekniikat puulle**

### **3.2.1 Ylä-, ala- ja käänteispalokattilat**

Ylä-, ala- ja käänteispalokattilat ovat kiinteistökohtaisia, pienitehoisia kattiloita. Niissä käytetään polttoaineena yleensä klapimaisia puukappaleita, haketta tai pellettejä. (Oravainen 2003a, 93.)

Yläpalokattila on yleinen ja halpa klapikattila. Yläpalokattilassa palamisilma tulee kattilan pohjalla olevan arinan lävitse, niin kuin tulisijoissa, ja iso polttoainepanos syttyy kokonaisuudessaan kerralla. Tällaisella polttotavalla pienitehoinen poltto aiheuttaa paljon päästöjä, joten kattila liitetäänkin yleensä varaajaan, jotta poltto voidaan suorittaa suuremmalla teholla. Tällöin myös kokonaislämmitysaika lyhenee. (Oravainen 2003a, 93.)

Kalliimmassa alapalokattilassa polttoaineen syttyminen ja palaminen tapahtuu kattilan alaosassa. Näin vain pieni osa polttoaineesta palaa kerrallaan ja polttoainetta voi lisätä kattilaan milloin vain. Liekit ja palamiskaasut ohjautuvat luonnonvedolla tai puhaltimen avulla erilliseen jälkipalotilaan, jossa ne palavat loppuun yläpalokattilaa puhtaammin. Yläpalokattilaa jatkuvamman toiminnan ja palamisen puhtauden ansiosta alapalokattila ei tarvitse seurakseen varaajaa, mutta usein sen käyttö on silti järkevää. (Oravainen 2003a, 93.)

Uusin pienkattilatulokas, käänteispalokattila, on paranneltu versio alapalokattilasta. Käänteispalokattilassa palamiskaasut pakotetaan arinan läpi jälkipalotilaan, jossa kaasut palavat alapalokattilaa korkeammassa lämpötilassa. Tämä vaatii kalliimpien materiaalien kuten

jälkipalotilan keraamin käytön, mutta tekee palamisesta puhtaampaa. (Oravainen 2003a, 94.)

### 3.2.2 Stokeripolttimet

Koko tehoalueella 0–100 %:iin toimivat stokeripolttimet eivät tarvitse seurakseen vesivaraajaa. Ne ovat yleisiä hakkeen ja pellettien poltossa noin 20–40 kW:n tehoisena. Niitä kuitenkin valmistetaan jopa 1 MW:n tehoisina. Stokeripolttimissa polttoainetta syötetään joko vaakatasossa tai alakautta palopäähän. Jatkuvan luonteensa takia polttoaineen syöttö saadaan vastaamaan lämmönkulutusta. Palopäässä polttoaine palaa korkeassa lämpötilassa puhaltimilla palopäähän ohjatussa ilmassa, minkä takia palaminen on puhdasta. Polttoaineen on kuitenkin oltava melko kuivaa, kosteudeltaan alle 30 %:sta, jotta poltin toimii hyvin. Korkean palamislämpötilan takia isompien stokerien palopää on yleensä vesijäähdytteinen. (Oravainen 2003a, 94–95; Lämpökeskusten polttotekniikat 2003, 96.)

### 3.2.3 Arinapoltto

Arinapoltossa arinalle syötetty polttoaine etenee arinaa pitkin palamisen edetessä. Osa palamisilmasta tulee arinan lävitse ja osa sekundääri-ilmana haihtuvien aiheiden palamistilaan. Arina voi olla joko kiinteä tai mekaaninen. Mekaanisten arinoiden toiminta perustuu yleensä lyhyihin työntöliikkeisiin. Hieman erikoisempi mekaanisen arinan tyyppi on pyörivä kekoarina, jossa polttoaine syötetään alakautta arinan keskelle, josta se liikkuu ulos- ja alaspäin. Tällainen rakenne mahdollistaa märän, kosteudeltaan jopa 65 %:sen, polttoaineen käytön, kun polttoaine ehtii kuivua arinan keskellä. Yleensä pienemmissä, alle 1 MW:n laitoksissa arina on kiinteä, kun taas mekaanisia arinoita käytetään tyypillisesti 2–15 MW:n laitoksissa. (Maa- ja metsätalousministeriö 2011a; Lämpökeskusten polttotekniikka 2003, 97.)

Tärkeintä arinapoltossa on se, että polttoaine syötetään tasaisesti arinalle. Jos ilma pääsee karkaillemaan, palamisen laatu kärsii. Palamisessa jäljelle jäänyt tuhka tippuu arinan raoista

tai päättyy arinan päässä sijaitsevaan tuhkakaukaloon. (Maa- ja metsätalousministeriö 2011a.)

### **3.2.4 Leijukerros poltto**

Leijukerros poltossa, tai lyhemmin leijupoltossa, saavutetaan tehokas lämmön- ja aineen-siirto polttamalla polttoaine leijuvaan hiekkakerroksen eli pedin seassa. Palamisen suhteellisen matala lämpötila tehoihin nähden alentaa  $\text{NO}_x$ -päästöjä ja rikkipäästökin saadaan poistumaan lisäämällä kalkkia kattilaan. Tekniikkana leijupoltto hyväksyy laadultaan vaihtelevan, ja jopa useamman erilaisen, polttoaineen eikä siinä ole varsinaisia huonoja puolia lukuun ottamatta leijuttamisen mahdollistavien puhaltimien vaativaa suurta omakäyttötehoa. (Maa- ja metsätalousministeriö 2011b; Lämpökeskusten polttotekniikat 2003, 98.)

Leijupoltosta on kaksi erilaista variaatiota: Kuplivakerros poltto ja kiertokerros poltto. Pienemmät laitokset, joiden tehoalue alkaa noin 4 MW:sta ylöspäin, käyttävät yleensä kuplivakerrosmenetelmää, jossa petinä käytettävä hiekka pysyy polton aikana leijukerroksessa. Tehokkaampien laitosten kiertoleijumenetelmässä leijutushiekka puolestaan poistuu tulipesästä ja se pitää erotella palamistuotteista sykloneilla ja palauttaa takaisin petiin. (Maa- ja metsätalousministeriö 2011b; Lämpökeskusten polttotekniikat 2003, 98.)

### **3.2.5 Muita tekniikoita**

Muita polttotekniikoita puupolttoaineille ovat kaasutus- ja poltin poltto. Ne ovat kuitenkin hieman harvemmin käytettyjä kuin aiemmin käsitellyt tekniikat. (Lämpökeskusten polttotekniikat 2003, 98; Maa- ja metsätalousministeriö 2011c.)

Kaasutuksessa polttoaine muutetaan, yleensä mahdollisimman täydellisesti, kaasuksi kaasuttimen korkeassa lämpötilassa ilman tai hapen vaikutuksesta ja poltetaan näin syntyvä polttoaasuseos erillisessä kattilassa (Orrain 2011, 13–16). Etenkin puuta kaasutettaessa on huomioitava saatavan kaasun tervamaiset yhdisteet siten, että kaasun polttaminen tapahtuu

mahdollisimman lähellä ja nopeasti kaasuttamisen jälkeen (Lämpökeskusten polttotekniikat 2003, 98). Kaasutuksella pyritään perinteisiä polttotapoja tehokkaampiin ja vähemmän päästöjä tuottaviin energiantuotantomenetelmiin (Orrain 2011, 16).

Kiinteän aineen poltin- tai toisin sanoen pölypoltossa kuivattu, pölymäiseksi jauhettu polttoaine syötetään kantokaasun avustuksella tulipesään palamaan. Pölyn syttymistä sekä palamista hallitaan kantokaasulla ja suuttimella aikaan saatavalla polttoaineen pyörteisyydellä. (Maa- ja metsätalousministeriö 2011c.)

Poltinpoltto ei yleensä sovellu pienitehoiseen voimalaan, vaan sen minitehovaatimus on noin 50–100 MW (Maa- ja metsätalousministeriö 2011c). Pölypolttoon on kuitenkin kehitetty pienempiinkin voimaloihin sopivia ratkaisuja. Esimerkiksi VTT (Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus) on ollut amerikkalaisen Power Generating Inc. yhtiön mukana kehittämässä paineistettua puupölyn kaasuturpiinipolttotekniikkaa, jolla energiantuotanto onnistuu noin 0,5–3,5 MW:n teholuokassa (Pellinen 1996, 37–38).

Hieman erilaisena, uutena polttotekniikkana mainittakoon suomalaisen Turos Team nimisen yrityksen 20 vuotta kehittämä, markkinoille nimellä HKG BioNear tuleva kattilaratkaisu, jossa biopolttoaineen, kuten hakkeen, avulla tuotetaan ilmasta ja vedestä erittäin vetypitoista poltettavaa kaasua. Lämpöä ja sähköä tuottava laitteisto on epävirallisissa mittauksissa saavuttanut 137 %:n hyötysuhteen. Laitteisto on vielä kehitteillä ja sitä koekäytetään kolmessa 0,3–1,0 MW:n laitoksessa. Yrityksen tarkoituksena on suunnitella omakotitalokäyttöön sopiva järjestelmä ja mahdollisesti tulevaisuudessa hyödyntää prosessista saatavaa kaasua liikennepolttoaineena. (Holopainen 2012; Turos Team 2012.)

### **3.3 Yhdistetty lämmön- ja sähköntuotanto**

Vaikka mekaanisen metsäteollisuuden yritysten polttolaitoksissa tuotetaankin oletettavasti pääasiallisesti lämpöenergiaa, niin myös sähköntuottaminen on niissä mahdollista, yleensä yhdistettynä lämmöntuotantoon. Pelkän sähköntuottaminen on mahdollista, mutta etenkin pienessä mittakaavassa yleensä kannattamatonta, koska kaikissa polttoprosesseissa osa energiasta jää väistämättömästi hukkalämmöksi. Myös hukkalämpö on siis järkevintä

hyödyntää, koska sen hyödyntäminen lisää käytetyn polttoaineen tai -aineiden jalostusasetta. (Pellinen 1996, 32.) Lämmön ja sähkön yhdistetystä tuotannosta käytetään monesti englanninkielistä lyhennettä CHP (compined heat & power).

Sähkäteholtaan alle 15 MWe:n, puupolttoaineita käyttäville järjestelmille pelkän sähkön sekä lämmön ja sähkön yhteistuotantoon VTT Prosessien erikoistutkija Heikki Oravainen antaa seuraavat päävaihtoehdot:

- höyrykattila ja höyryn käyttö höyryturbiinissa tai -koneessa
- kaasutuksen tuotekaasun poltto kaasukattilassa ja höyryn käyttö höyryturbiinissa
- kaasutuksen tuotekaasun käyttö diesel- tai kaasumoottorissa ja kaasuturbiineissa
- pyrolyysiöljyn (hakepolttonesteen) käyttö dieselmoottorissa tai kaasuturbiinissa
- Stirling-moottori
- ORC-prosessi. (Oravainen 2003b.)

Yleisimmin pienvoimalaitosten kokoluokassa rakennusaste, eli sähkö- ja lämpötehon suhde, täydellä teholla on noin 0,30–0,35 ja sähköteho alle 5 MWe. Myös pienempiä (sähkäteholtaan alle 1 MWe), arinakattilaan ja höyrykoneeseen perustuvia järjestelmiä on käytössä, mutta niissä rakennusaste jää hyvin vaatimattomaksi, alle 0,2:een. (Oravainen 2003b.)

Sivutuotteet eivät aina riitä yhdistetysti sekä sähköä että lämpöä tuottavan voimalaitoksen ainoaksi polttoaineeksi, sillä tällaisten voimalaitosten tulee olla teholtaan kuitenkin verrattain suuria, koska aivan pienen voimalan rakentaminen ei ole useinkaan ominaisinvestointien suuruuden takia kannattavaa (Pellinen 1996, 32). Teknologia kuitenkin kehittyy myös tällä saralla ja uusia menetelmiä, kuten edellisessä alaluvussa mainittu HKG BioNear -kattila, kehitetään jatkuvasti.

Esimerkkinä pienen mittakaavan CHP-tutkimuksesta mainittakoon viime vuonna päättynyt HighBio-projekti, joka keskittyi biomassan kaasutukseen tutkien muun muassa eri puulajien kaasuttamista sekä kaasutuksessa syntyviä kaasuja ja tervayhdisteitä. Tutkimuksen tuloksena julkaistiin, tämän opinnäytetyön lähteissä mainittu, HighBio-projektijulkaisu, joka tarjoaa paljon mielenkiintoista ja tuoretta tutkimustietoa biomassan kaasutuksesta sähkön, lämmön ja biopolttoaineiden tuottamiseksi. Projektissa oli mukana kouluni, Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulun, tutkimus- ja kehitysyksikkö CENTRIA, jonka Ylivieskassa sijaitsevan energiatekniikan laboratorion myötävirtakaasutin oli keskeinen tutkimus-



laitteisto projektissa. Muut hankkeessa mukana olleet tahot olivat Oulun ja Jyväskylän yliopistot, Kokkolan Chydenius instituutti sekä Luulajan teknillinen yliopisto. (Muilu 2012; Biomassan kaasutus sähköksi, lämmöksi ja biopolttoaineiksi 2011.)

## **4 KYSELYLOMAKKEEN LAATIMINEN**

Tutkimuksen tekeminen alkaa tavoitteen määrittelyllä, eli päätöksellä siitä, mitä tutkitaan. Sen jälkeen tulee päättää miten tutkimuksen vaatima aineisto kerätään. Yksi aineistonkeräyksen välineistä on kyselylomake. Tässä luvussa kerrotaan kyselylomakkeen laatimisessa huomioon otettavista, tärkeistä suunnittelullisista ja toteutuksellisista asioista.

### **4.1 Lomakkeen ulkoasu ja rakenne**

Vaikka tieteellisen tutkimuksen tapauksessa lomakkeen pituuden ja ulkoasun voisi olettaa olevan lomakkeen suunnittelun kannalta vähemmän tärkeitä kuin esimerkiksi sen, mitä kysytään, niin vastausten saamisen kannalta ne ovat suunnittelun tärkeimpiä lähtökohtia. Kyselyn vastaanottaja tekee vastaamispäätöksen yleensä aina lomakkeen pituuden ja ulkoasun pohjalta. Yleisesti ottaen kyselyn pituuden tulisi olla sellainen, että siihen vastaaminen kestäisi enimmillään 15–20 minuuttia. (Borg 2010.)

Kyselylomakkeen tulisi olla houkuttelevan näköinen, siisti ja selkeä. Selkeyden tavoittelu ei kuitenkaan saa johtaa siihen, että lomakkeesta tulee tekstiltään suurikokoista ja harvaa. Parempi on pyrkiä tiiviiseen rakenteeseen ja pieneen tekstiin, sillä näin lomake saadaan näyttämään lyhyemmältä, mikä hyvin suurella todennäköisyydellä lisää saatujen vastauksien määrää. Selkeyden tulisi näkyä lomakkeen ulkoasussa ja rakenteessa niin, että kysymykset ovat selkeästi eroteltu toisistaan ja samaa aihetta koskevat kysymykset on ryhmitelty esimerkiksi otsikoinnilla. Myös kysymysten juokseva numerointi on selkeyden kannalta tärkeää. (Heikkilä 2008, 48–49; Borg 2010.)

### **4.2 Kysymykset**

Kyselylomakkeessa voi olla muutamia erilaisia kysymyselementtejä. Ne voidaan jakaa lähtökohtaisesti avoimiin ja suljettuihin kysymyksiin sekä asenneasteikoihin. Avoimet kysymykset eivät anna vastaajalle valmiita vaihtoehtoja, vaan vastaajan on itse syötettävä

vastaus sille tarkoitettuun kohtaan. Suljetussa kysymyksessä puolestaan eri vastausvaihtoehdot on annettu valmiiksi ja vastaajan tehtäväksi jää valita niistä yksi tai useampi riippuen siitä, onko kyseessä valinta- vai monivalintakysymys. Avoimen ja suljetun kysymyksen yhdistäminenkin on mahdollista, jos vastausvaihtoehdoksi halutaan antaa esimerkiksi kohta "Muu vaihtoehto. Mikä?". Tällöin vastausvaihtoehdon viereen jätetään tila niin sanotulle avoimelle vastaukselle. Asenneasteikot taas toimivat niin, että vastaajalle on annettu asteikko, jonka ääripäinä ovat yleensä toisiaan vastaan taistelevat väittämät. Vastaaja valitsee asteikolta kohdan, joka vastaa parhaiten hänen omaa mielipidettään tai käsitystään asteikon yhteydessä kysytystä asiasta tai esitetystä väittämästä. (Heikkilä 2008, 49–55.)

Avoimia kysymyksiä kannattaa käyttää silloin, kun on hyvin vaikeaa tietää ennalta, minkälaisia vastausvaihtoehtoja vastaajalle tulisi antaa. Niiden käyttö on myös suositeltavaa, kun kysytään suhteellisen tarkkoja ja helppoja, usein numeerisia asioita kuten ihmisen ikää tai yrityksen liikevaihtoa. Avointen kysymysten avulla voidaan saada odottamattomiakin vastauksia, joten ne sopivat hyvin pilottitutkimuksiin eli esitutkimuksiin, joissa pyritään selvittämään, mitä asioita varsinaisessa tutkimuksessa kannattaa kysyä. Varsinkin laajemmat avoimet kysymykset mielletään kuitenkin usein vaativiksi vastattaviksi, joten niiden määrää kannattaa pyrkiä rajoittamaan ja ne tulisi mahdollisuuksien mukaan sijoittaa kyselyn loppupuolelle. Avointen kysymysten vastausten käsittely on usein työlästä. (Heikkilä 2008, 49–50; Borg 2010.)

Suljettuihin kysymyksiin vastaaminen on helppoa sekä nopeaa ja myös niistä saatujen vastausten käsittely onnistuu yleensä nopeasti. Suljettuja kysymyksiä käytetään silloin, kun on tiedossa, minkälaisia vastauksia kyselyn vastaanottajat todennäköisesti tulisivat muutenkin antamaan. Vastausvaihtoehtojen määrä kannattaa pyrkiä pitämään sopivan pienenä, koska muutoin vastaaminen hidastuu. Vaihtoehdot eivät saisi olla päällekkäisiä, vaan niiden pitäisi olla toistensa pois sulkevia, lukuun ottamatta ehkä joitain monivalintakysymyksen vastausvaihtoehtoja. Pahimpina ongelmina suljetuissa kysymyksissä on se, että vastauksia saatetaan antaa harkitsematta niitä tarpeeksi, ja toisaalta se, että kaikkia vastausvaihtoehtoja on usein vaikea tietää etukäteen, jolloin jokin niistä voi jäädä puuttumaan. Puuttuvan vastausvaihtoehdon ongelman voi kuitenkin kiertää antamalla kyselyn vastaanottajille vapaavalintaisen, avoimen vastausvaihtoehdon. Suljettujen kysymyksien tapauksessa pitää myös huomioda se, että annetut vaihtoehdot saattavat johdatella vastaajia. (Heikkilä 2008, 50–52; Borg 2010.)

Suljetun kysymyksen erikoistapauksen, monivalintakysymyksen kohdalla täytyy kysymyksen vastausohjeesta käydä selväksi onko valittavien vaihtoehtojen määrä rajattu jotenkin. Myös, jos monivalintakysymyksen vastaus halutaan tärkeysjärjestyksessä, on vastausohjeistuksen selvyyteen kiinnitettävä erityistä huomiota. Toki vastausohjeiden selvyys ja yksityiskohtaisuus on tärkeää kaikkien muidenkin kysymysten kohdalla. Vastausohje voi olla kyselylomakkeen alussa oleva yleisohje, mutta etenkin epäselvimmissä tai erikoisimmissa tapauksissa tulisi käyttää kysymyskohtaista ohjeistusta. (Borg 2010.)

Yleisimmin hyödynnettyjä asenneasteikoita ovat Osgoodin ja Likertin asteikot. Osgoodin asteikko on yleensä vastausvaihtoehtoiltaan 5- tai 7-portainen ja asteikon ääripäiden selitteet sisältävät vastakkaiset adjektiivit. Asteikon portaitten numeroinnissa voidaan käyttää useita eri tapoja kuten esimerkiksi sekä negatiivisia että positiivisia numeroita tai niin sanottua kouluarvosana-asteikkoa (4–10). Myös graafisen asteikon käyttö on mahdollista. Graafisen asteikon tapauksessa vastaaja saa merkitä vastauksensa tarkasti haluamaansa kohtaan janalla, mutta tällöin vastausten käsittely on vaikeampaa kuin porrastetun asteikon tapauksessa. Likertin asteikko on puolestaan yleensä 4- tai 5-portainen ja sen ääripäinä ovat usein mielipiteen vastakohtia kuvaavat "täysin samaa mieltä" ja "täysin eri mieltä". Asenneasteikkoja käyttämällä saadaan runsaasti tietoa kuluttamatta paljoa tilaa lomakkeelta. Niitä käytettäessä voi kuitenkin käydä niin, että vastauksiinsa loogisuutta tavoitteleva vastaaja antaa aiempien asteikkojen vastausten vaikuttaa myöhempisiin. (Heikkilä 2008, 52–55.)

Likertin asteikon yhteydessä on hyvä miettiä miten eri vastausvaihtoehdot nimetään. Erityisesti käytettäessä asteikkoa, jossa portaita on pariton määrä, täytyy harkita tarkkaan sitä, käytetäänkö niin sanotusti keskimmäisenä vaihtoehtona kohtaa "en osaa sanoa", vai muutoillaanko se vaikka muotoon "ei eri eikä samaa mieltä". Koska asteikon keskellä oleva "en osaa sanoa" -tyyppinen vaihtoehto on usein vastaajalle liian houkutteleva, kannattaa harkita sen siirtämistä esimerkiksi viimeiseksi vaihtoehdoksi tai sen pois jättämistä. Kyseinen vaihtoehto voi olla kuitenkin tarpeen tilanteessa, jossa vastaajalla ei ole kokemusta kysytystä asiasta, koska tällöin vastaaja voi haluamansa vaihtoehdon puuttuessa turhautua ja jättää vastaamatta kyselyyn. (Heikkilä 2008, 53–54; Borg 2010.)

Kaikkien kysymystyyppien kohdalla on hyvä pitää huolta siitä, että kysymys on selkeä, yksiselitteinen, kieleltään moitteeton ja helposti ymmärrettävä sekä mahdollisimman lyhyt ja ytimekäs. Kysymyksen ei pidä olla johdatteleva tai turha. Kysymysten täytyy olla kohte-  
liaasti esitettyjä, niin että sinuttelun ja teitittelyn käyttö kysymyksissä määräytyy kyselyn  
kohderyhmän mukaan. Viisainta on kysyä yhtä asiaa kerrallaan. (Heikkilä 2008, 57–58;  
Borg 2010.)

Kyselylomakkeessa ensimmäisinä kysymyksinä tulisi mahdollisuuksien mukaan käyttää  
helposti vastattavia kysymyksiä (Borg 2010). Näin varmistetaan, etteivät vastaajat ensim-  
mäiset kysymykset luettuaan päättää jättää vastaamista kesken. Myös liikaa vastaajien tietoja  
utelevat taustatietokysymykset, etenkin kyselyn alussa, ovat omiaan karkottamaan vastaa-  
jat (Heikkilä 2008, 58; Borg 2010). Hyvin tärkeää on myös kysymysten looginen ryhmitte-  
ly ja järjestys lomakkeelle, erityisesti silloin, kun kysymykset käsittelevät monia eri asioita  
(Borg 2010).

### 4.3 Lomakkeen testaus

Kyselylomakkeen laadinnassa, kuten niin monessa muussakin asiassa, huolellisinkaan  
suunnittelu ei pysty tekemään testausta tarpeettomaksi. Yksikään ihminen ei itsekseen pys-  
ty, etenkin kun toimii hyvin rajallisen ajan puitteissa, käsittelemään suunnittelun kohteena  
olevaa asiaa yhtä laajasti kuin useamman, nimenomaan testaamiseen asennoituneen ihmi-  
sen ryhmä. Kyselylomakkeen testauksen pystyy hoitamaan varsin pienikin ryhmä. Kunhan  
testaajat pyrkivät aktiivisesti tarkastelemaan ja arvioimaan lomakkeen hyvyttä sen kaikel-  
ta osin, ei testaajia tarvita kuin 5–10 (Heikkilä 2008, 61). Voidaan kuitenkin olettaa, että  
jos testaajien joukko on liian homogeeninen, testauksen monipuolisuus kärsii testaajien  
liian samankaltaisen katsontakannan takia silloin, kun testausjoukon koko on kovin pieni.

Testausta ei pidä tehdä vain sen tekemisen tähden, vaan siitä on syytä ottaa hyöty irti. Tä-  
mä tarkoittaa sitä, että testaajilta saadun palautteen perusteella tulee tehdä tarvittavat muu-  
tokset sekä lomakkeen yleiseen rakenteeseen ja ulkoasuun että kysymyskohtaisiin epäkoh-  
tiin (Heikkilä 2008, 61). Loppujen lopuksi tietysti on niin, että kyselyn suunnittelija tekee  
päätöksen siitä, mitkä muutokset ovat tarpeellisia, mutta hänen tulisi ottaa kaikki testaajilta

saamansa palaute avoimin mielin vastaan. Muutosten tekemisen jälkeenkin kyselyn suunnittelijan olisi hyvä vielä luettaa lomake jollakin toisella henkilöllä, koska muutokset saattavat aiheuttaa uusia virheitä lomakkeeseen esimerkiksi kysymysten järjestyksen muuttamisen surauksena (Heikkilä 2008, 61).

## 5 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

### 5.1 Lähtökohdat, tavoitteet ja toteutuksen suunnittelu

Olin vuoden 2011 kesän töissä kotikaupungissani Haapavedellä sijaitsevassa turvevoimalaitoksessa, jossa turpeen seospolttoaineena poltetaan puuperäisiä sekä toisinaan myös muita biopolttoaineita. Kun alkuvuodesta 2012 ryhdyin suunnittelemaan opinnäytetyölleni aihetta, niin osittain energia-alan kesätyökokemukseni siivittämänä kehkeytyi mielessäni idea tehdä tutkimus mekaanisen metsäteollisuuden sivutuotteiden energiakäytöstä. Esitin ideani puutekniikan yliopettaja Kaija Arhiolle, joka ehdotti, että toiseksi ohjaajaksi työlleni tulisi energiatekniikan lehtori Yrjö Muilu. Tämän jälkeen keskustelimme ideastani hieman tarkemmin ja tulimme siihen tulokseen, että aihe on tutkimisen arvoinen. Lopulta päädyimme siihen, että tutkimukseni käsittelisi mekaanisen metsäteollisuuden sivutuotteiden energiakäyttöä Oulun Eteläisen ja Keski-Pohjanmaan alueilla.

Tutkimuksen päällimmäisenä tavoitteena oli selvittää sivutuotteiden hyötykäyttöä ja sen kannattavuutta kohdeyrityksien toimipisteissä erityisesti energiakäytön osalta toimipisteiden omissa lämpökeskuksissa, mutta huomioiden myös sivutuotteiden myynnin energian tai polttoaineiden tuotantoon. Tämän lisäksi tarkoituksena oli selvittää kohdeyritysten mielipiteitä sivutuotteiden energiakäyttöön liittyvistä hyvistä ja huonoista puolista sekä innokkuutta sivutuotteidensa energiakäytön aloittamiseen tai tehostamiseen. Tutkimuksen alkuolettamuksena oli, että kohdeyritysten sivutuotteiden hyödyntäminen oli tehotonta osittain siksi, että yrityksillä ei ollut tarpeeksi tietoa asiasta. Myös tätä tietämyksen tasoa oli siis syytä lyhyesti selvittää. Pelkästään sivutuotteiden energiakäytön ja siihen liittyvien mielipiteiden tutkiminen olisi ollut mahdollista, mutta muunkin hyötykäytön osittaisella mukaan liittämällä uskoin saavani useamman yrityksen ottamaan osaa tutkimukseen.

Opinnäytetyöni ohjaajien kanssa sovimme, että tutkimuksen aineiston hankinta tapahtuisi Internet-pohjaisella kyselyllä, joka toimitettaisiin yrityksiin sähköpostin välityksellä. Sovimme myös, että kyselyn lisäksi tekisin haastattelun aiheeseen liittyen.

## 5.2 Kohderyhmä

Alkuperäisessä ideassani en ollut rajannut kohderyhmää mitenkään, vaikka epäilinkin, että se kaipaa rajausta. Yhdessä ohjaajieni kanssa päädyimme kuitenkin rajaamaan tutkimuksen koskemaan vain ammattikorkeakoulun lähialueita, ja niinpä kohdealueiksi valikoituivat Oulun Eteläisen ja Keski-Pohjanmaan alueet. Rajausta oli todellakin tarpeen, sillä jo näillä alueilla oli huomattavan paljon mekaanisen metsäteollisuuden yrityksiä.

Oulun Eteläinen käsittää 14 kuntaa, jotka ovat Alavieska, Haapajärvi, Haapavesi, Kalajoki, Kärsämäki, Merijärvi, Nivala, Oulainen, Pyhäjärvi, Pyhäntä, Reisjärvi, Sievi, Siikalatva ja Ylivieska (PVP Oy 2010). Hallinnolliseen Keski-Pohjanmaan puolesta kuuluu 8 kuntaa, jotka ovat Halsua, Kannus, Kaustinen, Kokkola, Lestijärvi, Perho, Toholampi ja Veteli (Keski-Pohjanmaan liitto 2012).

Kohdeyritysten pääasiallisen toimialan tuli sijoittua mekaanisen metsäteollisuuden eri aloille. Tässä yhteydessä mekaanisella metsäteollisuudella eli puutuoteteollisuudella tarkoitettiin teollisesti toteutettua puun jatkojalostamista ja tuotteistamista, joka tapahtuu etupäässä mekaanisin keinoin. Täysin käsityömäistä, pääasiallisesti perinteisillä käsityökaluilla suoritettua toimintaa ei voida laskea mekaanisen metsäteollisuuden piiriin.

Tutkimuksen kysely pyrittiin suorittamaan niin, että kaikki edellä mainituilla alueilla sijaitsevat mekaanisen metsäteollisuuden yritysten toimipisteet olisivat saaneet mahdollisuuden vastata siihen. Kysely tehtiin näin ollen koko perusjoukolle, johon kuuluivat sähköpostiosoitteen yhteystiedoissaan ilmoittaneet yritykset. Koska tietojen kerääminen kaikista kohdealueen mekaanisen metsäteollisuuden yrityksistä oli lukuisien eri syiden takia hyvin vaikeaa, on lähes mahdotonta tarkasti tietää kuinka suuren osan kaikista kohderyhmään kuuluvista yrityksistä perusjoukko kattaa. Perusjoukon voidaan kuitenkin sanoa käsittävän huomattavan osan Oulun Eteläisen ja Keski-Pohjanmaan alueiden mekaanisen metsäteollisuuden yrityksistä. Yritysten tietojen hankinnasta ja kyselyn lähettämisestä on kerrottu enemmän myöhemmin.



### 5.3 Kyselyn toteutus

Kyselyn suunnittelun aloitin kyselytutkimuksen suorittamiseen liittyvien ja kyselyn aihepiiristä kertovien lähteiden tutkimisella. Näiden taustatietojen perusteella laadin ensimmäisen luonnostelma kyselylomakkeesta. Varsinaisen kyselyn suorittamisen välineeksi valikoitui kotimainen Internetissä toimiva Webropol-palvelu, koska siihen oli saatavissa ilmaiset käyttäjätunnukset ammattikorkeakoulun puolesta. Palvelun käyttöön tutustumisen jälkeen tein sillä ensimmäisen version kyselylomakkeesta, jonka toimitin opinnäytetyöni ohjaajille testausta varten. Heiltä kyselystä saamani palautteen ja omien havaintojeni perusteella tein muutoksia muun muassa joihinkin kysymyksiin sekä lyhensin hieman kyselyä. Muutosten jälkeen tarkoitukseni oli vielä testata kysely uudestaan ja useamman testaajan voimin, mutta suunnittelemani aikataulu ei valitettavasti antanut tähän mahdollisuutta. Luotin kuitenkin siihen, että ohjaajieni ja oman itseni tietämys kyselyn aihepiiristä oli tarpeeksi kattava takaamaan kyselyn riittävän laadun, vaikka kyselyn testaaminen jäikin toivottua vähäisemmäksi. Lopullinen kyselylomake on esitetty tämän opinnäytetyön liitteissä (LIITE 1). Kyselyn tulosten analysoinnissa apuna oli Excel-tilukkolaskentaohjelma.

Kyselyn kohdeyritysten sähköpostiosoitteiden kerääminen tapahtui kuntien yritysrekistereistä, Internetin yrityshakupalveluista ja yritysten Internetsivuilta ollen varsin haasteellista. Syitä tähän haasteellisuuteen oli monia, mutta merkittävimmät niistä olivat rekisterien ja yrityshakupalveluiden epämääräiset tiedot yritysten toimialan ja yhteystietojen osalta sekä yritysten Internetsivujen puuttuminen tai niiden sähköpostiosoitteettomuus. Pyrin mahdollisuuksien mukaan valitsemaan yritysten tai toimipisteiden johdon sähköpostiosoitteen kyselyn kohdeosoitteeksi välttämällä sähköpostiosoitteita, jotka olivat esimerkiksi muotoa "myynti@yritys.jotain". Toisinaan kuitenkin myynnin tai infon sähköpostiosoite oli ainoa ilmoitettu sähköposti osoite, joten joidenkin yritysten kohdalla minun oli pakko tyytyä kompromissina lähettämään kysely siihen. Myös se, että toimipistekohtaisia sähköpostiosoitteita ei ollut useinkaan annettu yritysten yhteystiedoissa, johti kompromissiin, jossa mitä nöyrimmin pyysin saateviestissä kyselyn vastaanottajia vastaamaan kyselyyn erikseen kaikkien kohdealueen toimipisteiden osalta tai toimittamaan kyselyn eteenpäin sellaisille henkilöille, jotka olisivat voineet vastata kyselyyn toimipistekohtaisesti. Vastaajien ja sähköpostiosoitteiden etukäteistiedustelu puhelimella olisi varmasti lisännyt saatujen vastausten määrää, mutta se ei ollut aikataulullisista ja kustannuksellisista syistä mahdollista.

Sain kerättyä 129 sähköpostiosoitetta, joihin kyselyn lähetin. Kuuteen näistä sähköpostia lähettäessä takaisin palautui virheilmoitus, eli sähköpostiosoitteet eivät olleet toiminnassa tai niihin ei muusta syystä saanut yhteyttä. Tämän lisäksi kahdesta yrityksestä ilmoitettiin, ettei niiden toiminta ole laskettavissa mekaaniseksi metsäteollisuudeksi. Näin ollen, vaikka kaikilta osin sähköpostien perille menoa ei voi varmaksi osoittaakaan, varsinaisia kyselyn vastaanottaneita yrityksiä oli 121, joilla toimipisteitä kyselyn kohdealueilla on minun tietojen mukaan noin 125 kappaletta.

Kyselyn Internetosoitteen linkitin yrityksiin sähköpostilla lähettämäni saateviestiin. Saateviestissä esittelin ensin itseni ja sitten opinnäytetyöni aiheen. Tämän jälkeen selvitin miten olen hankkinut tiedot kyselyn kohdeyrityksistä. Sitten esitin mahdollisimman selväsanaisesti ja nöyrästi jo aiemmin mainitsemani toimipistekohtaisen vastaustoiveeni. Vastausajaksi annoin kaksi viikkoa ja ilmoitin vastausajan päättymispäivän saateviestissä mahdollisimman selvästi. Ilmoitin saateviestissä myös sen, että annetut vastaukset käsitellään ehdottoman luottamuksellisesti, ja että yksittäisiä vastauksia ei julkaista niin, että niiden antaja olisi tunnistettavissa. Tämän jälkeen määrittelin kyselyn kohdealan ja -alueet sekä muuttaman kyselyyn liittyvän termin. Lopuksi pyysin ongelmatilanteissa ottamaan yhteyttä sähköpostiosoitteeseeni ja kiitin jo etukäteen vastauksista.

Kun vastausajasta oli jäljellä hieman alle puolet, niin lähetin kohdeyritysten sähköpostiosoitteisiin vielä muistutusviestin kyselystä, jossa pyysin ennestään vastaamattomia vastaamaan kyselyyn sekä kiitin jo vastanneita ja pahoittelin häiriöstä. Muistutusviesti kannatti lähettää, koska pian sen lähettämisen jälkeen sain vielä muutaman vastauksen lisää.

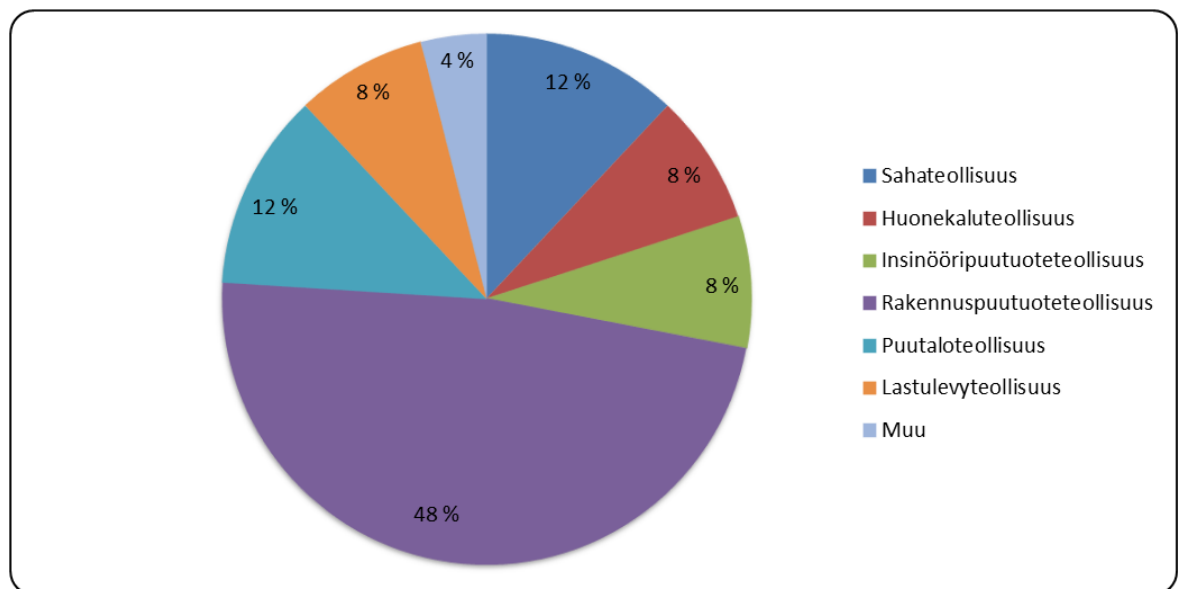
## **5.4 Haastattelu**

Ajattelin ottaa haastattelun kohdalla hieman toisen näkökulman asiaan ja kohdistaa haastatteluni mekaanisen metsäteollisuuden sivutuotteiden mahdolliseen ostajaan, joka käyttäisi sivutuotteita nimenomaan energiantuotantoon. Niinpä haastattelinkin lyhyesti puuperäisiä polttoaineita turpeen seassa polttavan, pelkästään sähköä tuottavan Kanteleen Voima Oy:n Haapaveden voimalaitoksen hankintapäällikköä Juha Ollilaa.

## 6 TUTKIMUKSEN TULOKSET

### 6.1 Vastausprosentti ja vastaajat

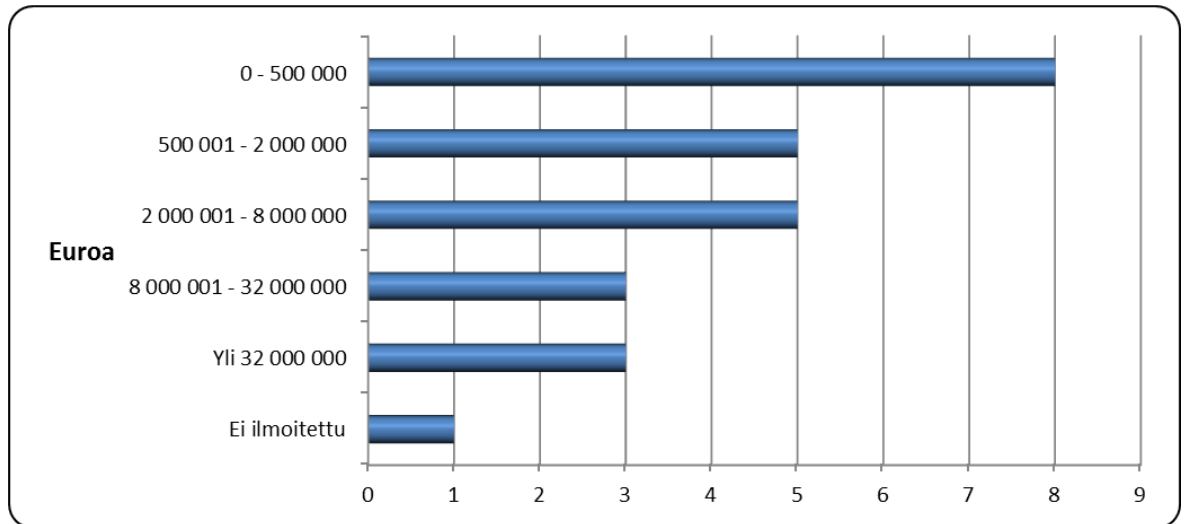
Määräaikaan mennessä vastauksia kyselyyn oli tullut 25 kappaletta. Kysely lähetettiin 121 vastaanottajalle, josta vastausprosentiksi saataisiin 20,7 %. Kun otetaan kuitenkin huomioon, että vastauksen antaneita toimipisteitä kyselyn vastaanottaneissa yrityksissä olisi voinut olla muutama enemmän kuin 121, niin on parempi sanoa, että vastausprosentti oli noin 20 %. Siitäkin huolimatta, että vastausprosentti on pieni, voidaan sitä tässä yhteydessä pitää melko hyvänä. Se olisi voinut jäädä merkittävästi pienemmäksi, koska kyselyn vastaanottajiin oltiin yhteydessä pelkästään sähköpostin välityksellä. Vaikka vastauksia tuli monen eri mekaanisen metsäteollisuuden alan ja monen eri kokoluokan yrityksiltä, ei kyselyn tuloksia voida pitää kuin melko hyvin suuntaa antavina.



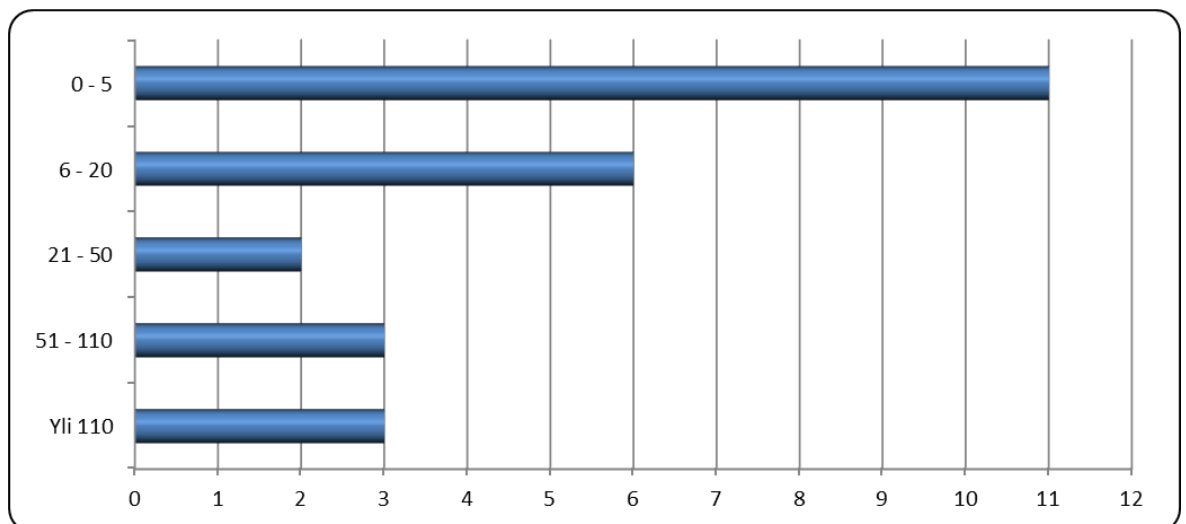
KUVIO 1. Vastaajayritysten pääasiallinen mekaanisen metsäteollisuuden ala

Vastaajista lähes puolet ilmoitti toimintansa pääasialliseksi mekaanisen metsäteollisuuden alaksi rakennuspuusepänteollisuuden. Seuraavaksi suurimmat vastauksissa edustetut alat olivat puutaloteollisuus ja sahateollisuus 12 %:n osuuksilla. (KUVIO 1.) "Muu"-

vastausvaihtoehdon oli valinnut 3 vastaajaa, mutta vastauksista ilmeni, että vain yksi vastauksista todella kuului valmiiksi annettujen vaihtoehtojen ulkopuolelle. Tämä epävarmuus omasta alasta on ymmärrettävää, koska etenkin rakennuspuusepänteollisuus ja insinööripuutuoteteollisuus käsittävät monien eri tuotteiden valmistusta, ja koska eri alojen nimitykset eivät ole aina yleisesti käytössä.



KUVIO 2. Vastaajayritysten liikevaihdon jakautuminen



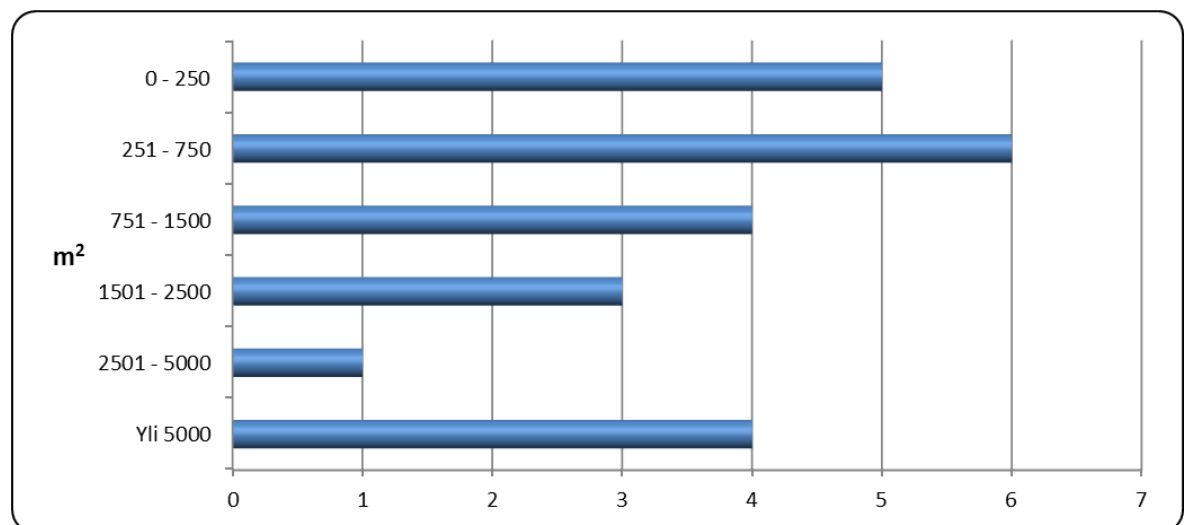
KUVIO 3. Vastaajayritysten työntekijöiden määrän jakautuminen

Kuten kuvioista 2 ja 3 on havaittavissa, suurin osa vastaajayrityksistä oli liikevaihdoltaan ja henkilöstön määrältään pienehköjä yrityksiä. Mukana oli kuitenkin melko tasainen mää-

rä suurempiakin yrityksiä. Yritysten pienuuden takia olisi ollut ymmärrettävää, että alle 20 % vastaajista ilmoitti yritykseensä koko Suomen alueella kuuluvan enemmän kuin yhden toimipisteen. Todellisuudessa tilanne oli kuitenkin niin, että puolet useamman toimipisteen omistavista yrityksistä kuului vastanneiden joukossa sekä henkilöstön määrältään että liikevaihdoltaan pienimpään kokoluokkaan. Kokonaisuutta tarkastellessa voidaan sanoa, että kyselyyn vastanneiden joukosta löytyi hyvin erityyppisiä yrityksiä.

## 6.2 Toimipisteen lämmitys ja energia

Alla (KUVIO 4) on esitetty vastaajien ilmoittamien toimipisteiden lämmitettävien tuotantotilojen jakautuminen. Tilojen koossa oli nähtävissä yhteys yritysten koon pienuuteen. Kaksi vastaajaa jätti vastaamatta kysymyksen.

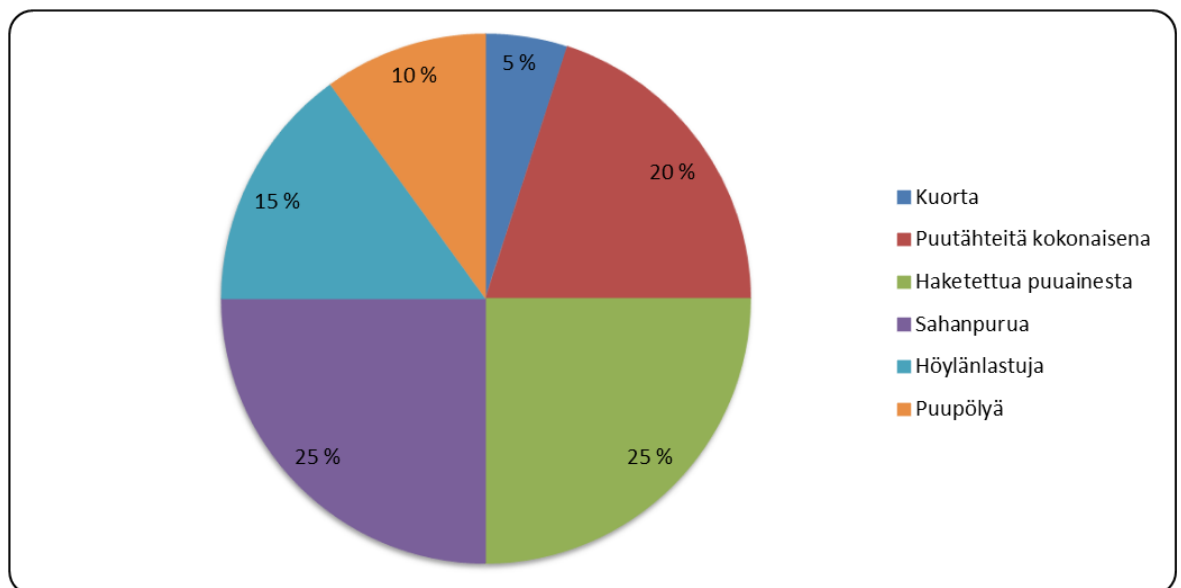


KUVIO 4. Toimipistekohtaisten lämmitettävien tuotantotilojen jakaantuminen

Lämmitettävien tilojen lisäksi 9 vastaajaa ilmoitti toimipisteessään olevan muita lämpöenergiaa tarvitsevia järjestelmiä. Seitsemässä tapauksessa kyseinen järjestelmä oli pintakäsittelylinjaston kuivaamo ja kahdessa puutavaran kuivaamo. Yhdessä vastauksessa pintakäsittelylinjaston kuivaamon kanssa oli ilmoitettu eräs muu lämpöenergiaa tarvitseva järjestelmä.

Vastaajista 8 kertoi toimipisteessään olevan oman lämpölaitoksen. Näin vastanneet olivat hyvin erilaisia sekä yrityksenä liikevaihdolla ja työntekijöiden määrällä että toimipisteensä lämmitettävien tilojen koolla mitattuna. Oman lämpölaitoksen omistaviin kuului myös eri aloilla toimivia yrityksiä, vaikka suurin osa (62,5 %) niistä kertoi toimivansa rakennuspuu-tuoteteollisuudessa. Muina edustettuina aloina olivat lastulevy-, saha- ja huonekaluteolli-suus. Lämpölaitoksellisista vastaajista 5:llä oli jokin lämpöenergiaa vaativa järjestelmä. Neljässä tapauksessa viidestä tämä järjestelmä oli pintakäsittelylinjaston kuivaamo ja yh-dessä puutavaran kuivaamo.

Yhdessäkään lämpölaitoksessa ei tuotettu lämmön lisäksi sähköä ja vain yksi vastaajista kertoi, että lämpölaitoksensa tuottamaa lämpöenergiaa myytiin muille. Seitsemän vastaajaa oli ilmoittanut lämpölaitoksensa tehon, joka jäi kaikissa tapauksissa alle 5 MW:n ja oli pienimmillään vain muutaman kymmenen kilowatin luokkaa. Ilmoitettujen tehojen kes-kiarvo oli 1,25 MW keskihajonnalla 1,13 MW. Lämpöenergiaa myyvän vastaajan lämpö-laitos oli teholtaan pienimpien joukossa.



KUVIO 5. Polttoaineena käytettyjen sivutuotteiden osuudet

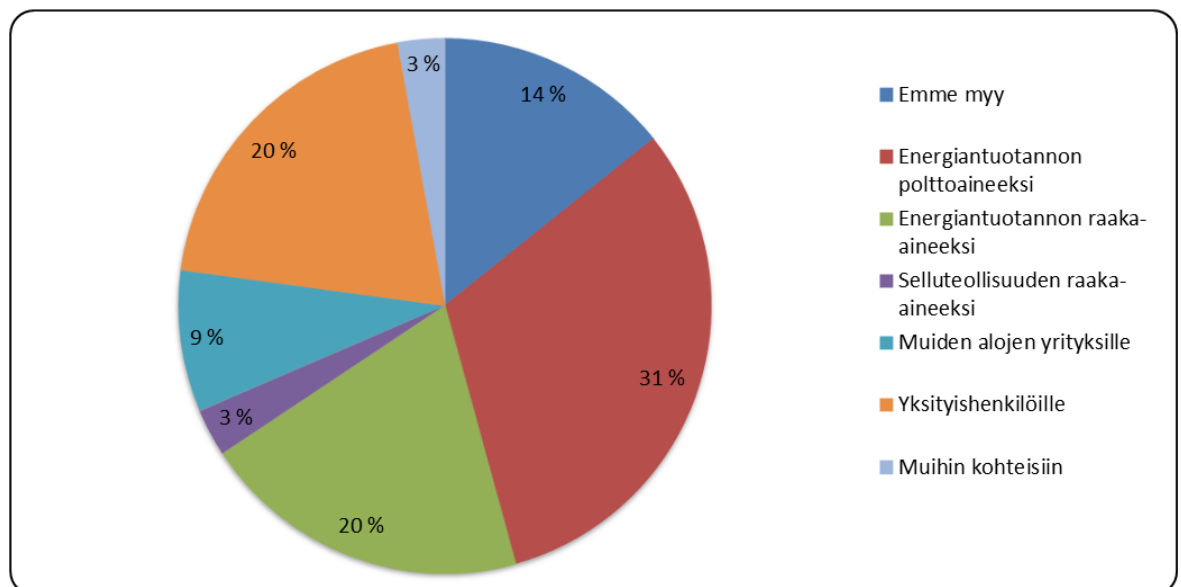
Kaikkien lämpölaitosten pääasiallisena polttoaineena toimivat oman tuotannon sivutuotteet. Käytetyimpiä sivutuotteita olivat sahanpuru sekä haketettu puuaines, joiden osuus oli yh-teensä 50 % (KUVIO 5). Myös kokonaisia puutähteitä ja höylänlastuja käytettiin paljon.

Muita kuin sivutuotepolttoaineita käytettiin kolmessa tapauksessa. Kahden vastaajan kohdalla tämä polttoaine oli kevyt polttoöljy ja yhdessä tapauksessa käytettiin lisäpolttoaineina turvetta ja ostettua polttohaketta.

Vaikka lämpölaitoksia vastanneiden toimipisteiden joukossa oli kahdeksalla, niin vain seitsemän vastaajista (30,4 %) kertoi lämmityksen olevan pääasiallisesti hoidettu omalla lämpölaitoksella. Suurimmassa osassa tapauksista pääasiallinen lämmitystapa oli kauko- tai aluelämpö 43,5 %:n osuudella. Pääasiallisesti sähköä käytti 17,4 % vastaajista ja muita lämmitysjärjestelmiä kertoi käyttävänsä 8,7 % vastaajista. Kaksi vastaajaa oli jättänyt vastaamatta kysymyksen.

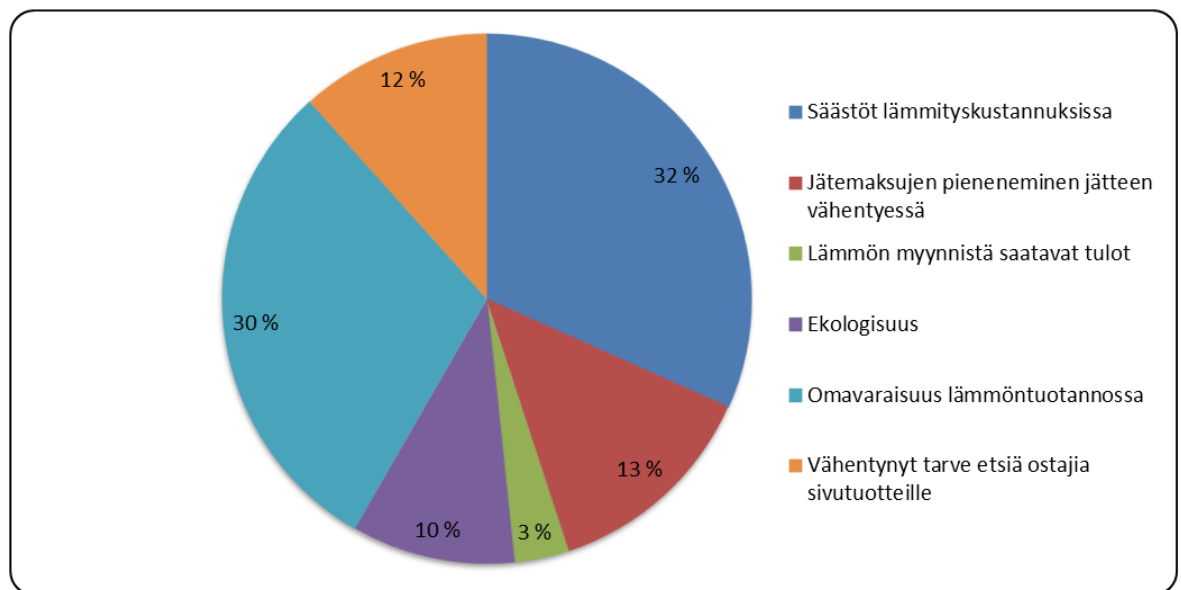
### 6.3 Sivutuotteiden energia- ja hyötykäyttö

Sivutuotteiden yleisin myyntikohde oli niiden myynti energiantuotannon polttoaineeksi. Myös sivutuotteiden myyminen yksityishenkilöille ja energiantuotannon raaka-aineeksi kuten pelletointiin oli hyvin yleistä. Selluteollisuuden raaka-aineeksi myyminen oli jopa yllättävän vähän edustettuna. (Kuvio 6.) Muina aloina ja kohteina, joihin sivutuotteita myytiin, mainittiin maatalous ja turkistarhat sekä kuivikekäyttö karja- ja hevostiloilla.



KUVIO 6. Sivutuotteiden myyntikohteiden osuudet

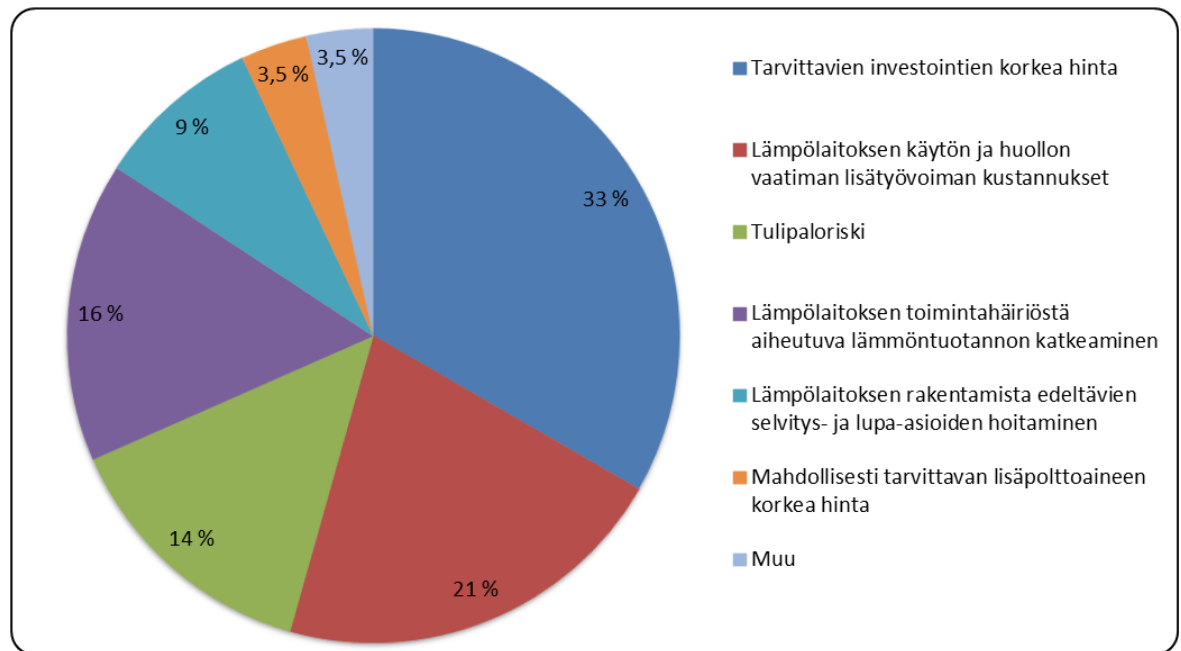
Sivutuotteiden muista hyötykäyttökohteista kaksi oli ylitse muiden. Nämä hyötykäyttökohdet olivat sivutuotteiden polttaminen takassa, uunissa tai saunassa sekä niiden uudelleenkäyttäminen. Uudelleen hyödynnettiin useimmin erilaisia pakkauksia. Sivutuotteiden uusiokäyttö tapahtui joko yrityksen omassa toiminnassa tai yhteistyönä muiden yritysten kanssa. Myös liikelahjojen tekeminen sivutuotteista mainittiin yhtenä niiden hyötykäyttökohteena.



KUVIO 7. Oman lämpölaitoksen rakentamisen ja sivutuotteiden polttamisen aloittamisen parhaita puolia

Kuten yllä (KUVIO 7) on nähtävissä, vastaajien mielestä lämmityskustannuksissa säästäminen ja omavaraisuus lämmöntuotannossa olivat parhaita puolia omatoimisen sivutuotteiden energiakäytön aloittamisessa. Lämpöenergian myynnistä saatavia tuloja ei pidetty merkittävänä asiana. Myöskään ekologisuus ei ollut kovin monen vastaajan mielestä oman lämpölaitoksen rakentamisen ja sivutuotteiden polttamisen kolmen parhaan puolen joukossa.





KUVIO 8. Oman lämpölaitoksen rakentamisen ja sivutuotteiden polttamisen aloittamisen huonoimpia puolia

Huonoimpina asioina oman lämpölaitoksen rakentamisessa ja sivutuotteiden omatoimisen energiakäytön aloittamisessa pidettiin etenkin tarvittavien investointien korkeaa hintaa. Myös lisätyövoiman kustannuksia, lämmöntuotannon katkeamista häiriötilanteessa sekä tulipaloriskiä pidettiin verrattain merkittävinä asioina. Muuna huonona puolena mainittiin se, että sivutuotteiden omatoimisen energiakäytön ei uskottu pystyvän kilpailemaan kannattavuudessa edullisen kaukolämmön kanssa. (KUVIO 8.)

Väite, että sivutuotteiden energiakäytön aloittaminen vastaajan toimipisteessä on tai oli taloudellisesti erittäin kannattavaa, sai melko hyvin kannatusta. Jokseenkin samaa mieltä tai täysin samaa mieltä väitteen kanssa oli jopa lähes 70 % vastaajista, joista nimenomaan täysin samaa mieltä oli hieman alle puolet. Vastapainona kannatukselle, myös vastustajia löytyi. Täysin eri mieltä oli noin 8 % ja jokseenkin eri mieltä noin 17 %. Myös "En osaa sanoa" kohta sai kahdeksisen prosenttia vastauksista.

Myös väitteet siitä, että vastaajilla oli riittävästi tietoa sivutuotteiden energiakäytöstä ja hyötykäytöstä otettiin vastaan myönteillen. Kummankin väitteen kohdalla jokseenkin samaa mieltä olleiden osuus oli todella korkea, energiakäytön kohdalla noin 58 % ja hyötykäytön kohdalla jopa noin 67 %. Täysin samaa mieltä oleviakin löytyi noin 29 %:n ja 21 %:n ver-

ran. Kummankaan väitteen kanssa ei kukaan vastaajista ollut täysin eri mieltä eikä energiakäytön kohdalla kukaan ollut edes jokseenkin eri mieltä. Tiedon riittävydestä sivutuotteiden hyötykäytönkin kohdalla jokseenkin eri mieltä oli vain yksi vastaaja. "En osaa sanoa" vastanneita oli molemmissa tapauksissa hieman 10 %:n molemmin puolin.

Kun väitettiin, että vastaajan toimipisteessä aloitetaan tai tehostetaan sivutuotteiden energiakäyttöä seuraavan viiden vuoden aikana, kannatus ei ollut enää yhtä selvää. Jokseenkin samaa mieltä väitteen kanssa oli yhä suurin osa vastanneista, noin 52 %, mutta kukaan ei kertonut olevansa täysin samaa mieltä. Täysin eri mieltä oli noin 9 % ja jokseenkin eri mieltä noin 17 %. Epätietoisten osuus oli tämän väitteen kohdalla suurin ollen noin 22 %.

Kyselyn "Vapaa sana"-kohta ei ollut erityisen suosittu. Yksi vastaajista oli esittänyt siinä halukkuutensa löytää jonkin taho, joka ostaisi tähteiksi jäävät puukappaleet ja hakettaisi ne itse. Toisen vastaajan mielen taasen olin pahoittanut käyttämällä kyselyn yhteydessä sivutuotteista "jäte"-sanaa. Hän kertoi kuinka sivutuotteet ovat heidän yrityksessään varsin merkittävä osa liiketoimintaa eivätkä siis missään nimessä jätettä. Tahtoisinkin pahoitella tapahtunutta ja tarkentaa, että vain sivutuotteet, joille ei ole keksitty hyötykäyttökohdetta, ovat jätettä.

#### **6.4 Haastattelun antia**

Haastateltavani, Kanteleen Voima Oy:n Haapaveden voimalaitoksen hankintapäällikkö Juha Ollila on vastuussa voimalaitoksen polttoainekaupasta. Hän kertoi, että turpeen seassa voimalaitoksessa poltetaan puuperäisinä polttoaineina pääasiassa metsäpolttoaineita eli metsähaketta, mutta myös vähän lisäpolttoaineena joitain sahoilta saatavia sivutuotepolttoaineita kuten sahanpurua, kutterinlastua, haketta ja sahanpurubrikettejä. Polttoaineet ostetaan voimalaitokselle toimitettuina. Voimalaitoksella on 80-millimetrisellä seulalla varustettu jauhin, jolla järeämpi hake, pidemmät kappaleet ja brikitit voidaan hienontaa pölypolttoon sopivampaan muotoon. Pienemmät ja ohuemmat polttoaineet kuten puru ja lastut voidaan polttaa sellaisenaan. (Ollila 2012.)

Syy siihen, miksi mekaanisen metsäteollisuuden sivutuotepolttoaineita ei voimalaitoksessa polteta yhtä paljon kuin metsäpolttoaineita on varsin yksinkertainen. Ollila selvitti, että metsäpolttoaineille myönnetään sähköntuotannon tukea, jota sivutuotepolttoaineille ei myönnetä (Ollila 2012). Metsähakkeelle tämä tuki on varsin merkittävä, enimmillään jopa 18 €/MWh (Laki uusiutuvilla energianlähteillä tuotetun sähkön tuotantotuesta 30.12.2010/1396). Näin ollen oli ymmärrettävissä, että mekaanisen metsäteollisuuden sivutuotteiden polton lisääminen olisi periaatteessa mahdollista, mutta nykyisen tukijärjestelmän takia se ei ole ainakaan Kanteleen Voima Oy:n Haapaveden voimalaitoksen kaltaises- sa sähköntuotantolaitoksessa kannattavaa. Ollila kuitenkin huomautti, että esimerkiksi sahanpuru olisi todella hyvää polttoainetta pölypolttoon, jos se vain olisi kuivempaa kuin lähes tuoreen puun sahaamisesta syntyvä, kosteudeltaan noin 50 % oleva puru (Ollila 2012).

## 7 YHTEENVETO TUTKIMUKSESTA

### 7.1 Johtopäätökset

Tutkimuksen kyselyn vastausprosentin pienuuden takia on turha ryhtyä kirjoittamaan mitään ehdottomia totuuksia kohdealueiden saati koko Suomen mekaanisen metsäteollisuuden yritysten sivutuotteiden energiakäytöstä. Varovaisiin ja ainakin melko hyvin suuntaa antaviin johtopäätöksiin kyselyn vastauksien perusteella kuitenkin voidaan päätyä. Tutkimusta voisikin kuvata lähinnä esitutkimukseksi, josta saa suuntaa ja ideoita mahdollisesti tulevaisuudessa tehtäviin, samaa aihepiiriä käsitteleviin tutkimuksiin.

Kyselyn vastauksista oli nähtävissä se, että sivutuotteita hyödyntäviä lämpölaitoksia ei ole ainoastaan suurissa, esimerkiksi sahateollisuuden yrityksissä, vaan että hyvin monenlaiset yritykset hyödyntävät sivutuotteitaan omissa lämpölaitoksissaan. Eritoten merkittävää oli se, että sivutuotteet olivat kaikissa tapauksissa lämpölaitoksien pääasiallisia polttoaineita. Myös sivutuotteiden myynnin yleisyys energiantuotantoon, joko polttoaineeksi tai polttoaineen raaka-aineeksi, tuli selvästi tutkimuksessa esille. Syy siihen, miksi kyselyyn vastanneiden joukossa oli useita, jotka eivät myyneet sivutuotteitaan, jäi jokseenkin epäselväksi, mutta joidenkin avoimien vastausten perusteella sen voisi uskoa johtuvan pääasiassa, etenkin pienempien yritysten tapauksessa, tuotannossa syntyvien sivutuotteiden määrän vähydestä.

Tutkimuksen taustalla ollut huoli siitä, etteivät mekaanisen metsäteollisuuden yritykset ole riittävän hyvin tietoisia sivutuotteidensa hyöty- ja energiakäytön mahdollisuuksista, vaikuttaisi tutkimuksen perusteella olevan aiheeton. Ainakin kyselyyn vastanneiden kohdalla vaikutti siltä, että heidän tietämyksensä sivutuotteiden hyöty- ja energiakäytön mahdollisuuksista oli vähintäänkin melko hyvin riittävä. Tämä tietämys näkyi eritoten energiakäytön kohdalla, koska kukaan vastaajista ei selvästi ilmaissut lisätiedontarvettaan. Mielenpiteet sivutuotteiden energiakäytön kannattavuudesta vaihtelivat jonkin verran, mutta pääosa vastaajista oli kuitenkin sitä mieltä, että energiakäyttö on kannattavaa. Kannattavuutta koskevien mielenpiteiden kohdalla ei tutkimuksen perusteella voida sanoa perustuvatko mielipi-

teet tehtyihin selvityksiin vai vain luuloihin. Voihan näet olla, että yrityksillä on tietoa muun muassa sivutuotteiden energiakäytön mahdollisuuksista ja kannattavuudesta, mutta tieto voi olla esimerkiksi vanhentunutta tai perustua epämääräisiin lähteisiin. Tietojen paikkaansa pitävyys sekä tason selvittäminen voisi olla aihe toiselle tutkimukselle.

Lähitulevaisuudessa sivutuotteiden energiakäytön aloittamista tai tehostamista yksikään vastanneista ei varmuudella luvannut, mutta hyvin monet vastaajat pitivät sitä jokseenkin todennäköisenä. Myös niitä, jotka eivät kovin vakavissaan kyseisiä toimia harkinneet, kuitenkin löytyi. Oman lämpövoimalan rakentamisessa ja sivutuotteiden energiakäytön aloittamisessa selvästi eniten vastaajia arvelutti vaadittavien alkuinvestointien suuruus, mikä varmasti nouseekin kynnyskysymykseksi useissa tapauksissa. Investointien suuruuden vastapainona suurin osa vastanneista kuitenkin näki säästöt lämmityskustannuksissa ja omavaraisuuden lämmöntuotannossa. Puuperäiset polttoaineet, etenkin sivutuotepolttoaineet, ovat kuitenkin hyvin edullisia, mikä mielestäni olisi riittävä syy ainakin sivutuotteiden polttamisen kannattavuutta tarkastelevan selvityksen tekemiselle yrityksissä. Kyselyn vastauksista näkyvä pieni pelko oman lämpölaitoksen vian aiheuttamasta lämmöntuoton katkeamisesta on monessa tapauksessa melko lailla aiheeton, sillä esimerkiksi sähkölämmityslaitteiden käyttö tilapäisenä lämmönlähteenä on usein täysin mahdollista.

Tekemästäni haastattelusta selvisi pääasiassa se, että nykyinen sähköntuotannon tukijärjestelmä ei innosta ainakaan sähköntuottajia hyödyntämään mekaanisen metsäteollisuuden sivutuotteita merkittävässä määrin tai ei ainakaan maksamaan niistä kovin hyvää hintaa, vaikka niiden käyttö muutoin olisikin täysin mahdollista. Sähköntuotannon tukia koskevas-  
ta laista on kuitenkin nähtävissä, että tietyntyyppisten, yhdistetysti sähköä ja lämpöä tuottavien voimalaitosten kohdalla mekaanisen metsäteollisuuden sivutuotteiden polttamisellekin on mahdollista saada tukea (Laki uusiutuvilla energianlähteillä tuotetun sähköntuotantotuesta 30.12.2010/1396). Näin ollen kehottaisinkin mekaanisen metsäteollisuuden yrityksiä olemaan aktiivinen tiedonhaussa ja lähestymään lähialueiden energiantuotantolaitoksia asian tiimoilta.

## 7.2 Oma oppiminen

Tein mielestäni oikean päätöksen siinä, että yhdistin kyselyyni sivutuotteiden energiakäytön lisäksi myös muun hyötykäytön tarkastelua, mutta käsitän myös, miten tämä aihepiirin laajennus vaikutti kyselyn tulosten tietynlaiseen pinnallisuuteen. Jos olisin kyselyssäni käsitellyt ainoastaan sivutuotteiden energiakäyttöä yritysten toimipisteiden omissa lämpölaitoksissa, niin olisinko silloin saanut vastauksia ja näin ollen mielipiteitä asiasta yrityksiltä, joilla ei omaa lämpölaitosta ole? Enpä usko. Toisaalta olisin voinut tehdä kaksi eri kyselyä ja kysyä eri kysymyksiä yrityksiltä, joilla ei omaa lämpölaitosta ole, mutta tällöin tutkimukseeni olisi tullut entisestään enemmän laajuutta kahdenlaisten tulosten muodossa. Tutkimuksen olisi siis kyselyn osalta voinut tehdä hyvinkin erilaiseksi kuin minkälaiseksi minä sen tein, mutta pidän omaa tapaani kuitenkin hyvänä ja esitutkimustyyppiselle tutkimukselle varsin sopivana.

Opinnäytetyöni teoriaosionkin kohdalla kamppailin niin sanotusti turhaa laajuutta vastaan. Pysyin kuitenkin suunnitelmassani teoriaosuuden pääasiallisesta sisällöstä, joten teksti säilyi verrattain eheänä eikä saanut paloiteltua vaikutelmaa. Mielestäni teoriaosio tukee ja valottaa hyvin kyselyn aihepiirin asioita ja itse kyselylomakkeen suunnittelua.

Tekemäni kyselyn kysymyksien muotoilu olisi pitänyt tehdä hieman erilailla. Vaikutti, että jotkin kysymykset olivat vastaajista vaikeasti ymmärrettävissä. Myös kysyttyjä asioita olisi voinut miettiä vieläkin tarkemmin. Kaiken kaikkiaan kyselyn selkeyttä ja tiiveyttä olisi ehkä ollut syytä lisätä, mutta käytettävissä olleen ajan ja resurssien puitteissa sanoisin, että hyvin suurelta osin kysymykset olivat aiheellisia ja ymmärrettäviä. Harmillista oli, että kaikki vastaajat eivät olleet vastanneet kaikkiin heitä koskeviin kysymyksiin. Sitä mistä tämä vastaamattomuus johtui voi vain arvailla, mutta on mahdollista, että syynä oli esimerkiksi kyselyn pituuden aiheuttama vastaajan keskittymisen herpaantuminen tai kyselyn epäselvyyden aiheuttama vastaajan vahinko.

Ajankäyttö ja aikataulun suunnittelu on aina hankalaa. Sen olisi jo tähän ikään mennessä luullut oppineensa, mutta ilmeisesti näin ei ole kuitenkaan päässyt käymään. Kuten niin monen harjoitustyön ja koulutehtävän kohdalla aiemminkin, myös opinnäytetyöni kohdalla ajankäytön suunnitteluun ja suunnitelmasta kiinnipitämiseen olisi pitänyt panostaa enem-

män. Vaikka opinnäytetyön tekemiseen varattu aika oli itsessään riittävä, niin työn tekemiseen ryhtyminen oli liian verkkasta. Tämä hidas aloitus osaltaan johti siihen, että aikataulun loppupuolella minun täytyi tehdä todella pitkiä päiviä, jotta työ olisi valmistunut ajallaan. Työn tekeminen olisikin pitänyt suunnitella ja toteuttaa niin, että alusta asti olisi ollut päivittäin tai vähintäänkin viikoittain selkeä tehtävä tai työn osa, joka olisi kyseisessä ajassa pitänyt saada tehdyksi. Myös lähdeaineistoihin tutustuminen olisi pitänyt tehdä järjestelmällisemmin ja muistiinpanoja enemmän tehden, jotta hidas, kirjoittamisvaiheessa tapahtunut tekstin pätkien etsiskely lähdemateriaalikasojen syövereistä olisi ollut vähäisempää. En kuitenkaan joutunut valvomaan öitä opinnäytetyöni takia, joten voisi sanoa, että aikataulu oli hyvä ja aika riittävä, vaikka ajankäytössä esiintyikin ongelmia. Jospa viimeistään nyt olisin ottanut opikseni ja saanut ajankäytön jalon taidon hallintaani.

Vaikka ongelmia oli, ja vaikka monet asiat tulevaisuudessa tekisinkin toisin, niin kokonaisuutena olen varsin tyytyväinen opinnäytetyöhöni. Koko opinnäytetyöprosessi on ollut varsin opettava ja informatiivinen kokemus. Tutkimus toi selvyyttä haluttuihin asioihin vähintäänkin suuntaa antavasti. Toivon, että opinnäytetyöstäni on apua mekaanisen metsäteollisuuden yrityksille ja puualan opiskelijoille, ja että tutkimukseni toimii esitutkimuksena ja ideoiden lähteenä tulevaisuudessa saman aihepiirin tiimoilta tehtävissä tutkimuksissa.

## LÄHTEET

- Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT tiedotteita 2045. Espoo: Otamedia Oy. Pdf-tiedosto. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/T2045.pdf> . Luettu: 1.3.2012.
- Alakangas, E & Selin, P. 2004. Faktaa paikallisista polttoaineista. Vapo Oy & VTT. Esite.
- Biomassan kaasutus sähköksi, lämmöksi ja biopolttoaineiksi. 2011. Toimittanut Lassi, U & Wikman, B. HighBio-projektijulkaisu. Pdf-tiedosto. Saatavissa: <https://jyx.jyu.fi/dspace/bitstream/handle/123456789/27058/978-951-39-4313-4.pdf?sequence=1> . Luettu: 9.5.2012.
- Borg, S. 2010. Kyselylomakkeen laatiminen. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.fsd.uta.fi/menetelmaopetus/kyselylomake/laatiminen.html> . Muutettu: 26.8.2010. Luettu: 2.4.2012.
- Hakkila, P. 2003a. Biomassan synty ja palaminen. Teoksessa K. Knuuttila (toim.) Puu-energia. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy, 24-25.
- Hakkila, P. 2003b. Lämpöä tuottamattomat aineet. Teoksessa K. Knuuttila (toim.) Puu-energia. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy, 27-28.
- Heikkilä, T. 2008. Tilastollinen tutkimus. 7., uudistettu painos. Helsinki: Edita Prima Oy.
- Holopainen, R. 2012. Vettä polttamalla ennätysmäinen hyötysuhde. 3T - Teknologia Talous Työelämä nro 13, 13.
- Keski-Pohjanmaan liitto. 2012. Keski-Pohjanmaan liiton jäsenkunnat. Saatavissa: [http://www.keski-pohjanmaa.fi/page.php?page\\_id=11](http://www.keski-pohjanmaa.fi/page.php?page_id=11) . Luettu: 28.4.2012.
- Kivimaa, A. 2006. Lämmitysjärjestelmävaihtoehtojen vertailu Vieskan Elementti Oy:lle. Opinnäytetyö. Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu. Puutekniikan koulutusohjelma. Ylivieska.
- Koponen, H. 2005. Puutuoteteollisuus 4: Puulevytuotanto. 3-1. painos. Helsinki: Edita Prima Oy.
- Laki uusiutuvilla energianlähteillä tuotetun sähkön tuotantotuesta 30.12.2010/1396.
- Lundén, K. 2012. UPM ärsyttää mäntyöljy-yhtiöitä. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.talouselama.fi/uutiset/upm+arsyttaa+mantynoljyyhtioita/a2095548> . Muutettu: 19.4.2012. Luettu: 21.4.2012.
- Lämpökeskusten polttotekniikat. 2003. Teoksessa K. Knuuttila (toim.) Puuenergia. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy, 92–96.



Maa- ja metsätalousministeriö. 2011a. Arinapoltto. Www-dokumentti. Saatavissa: [http://www.bioenergiatieto.fi/default/www/etusivu/tietoa\\_bioenergiasta/energiatuotannon\\_tekniikka/polttotekniikka\\_kiinteille\\_polttoaineille/arinapoltto/](http://www.bioenergiatieto.fi/default/www/etusivu/tietoa_bioenergiasta/energiatuotannon_tekniikka/polttotekniikka_kiinteille_polttoaineille/arinapoltto/) . Muutettu: 7.10.2011. Luettu: 2.4.2012.

Maa- ja metsätalousministeriö. 2011b. Leijupoltto. Www-dokumentti. Saatavissa: [http://www.bioenergiatieto.fi/default/www/etusivu/tietoa\\_bioenergiasta/energiatuotannon\\_tekniikka/polttotekniikka\\_kiinteille\\_polttoaineille/leijupoltto/](http://www.bioenergiatieto.fi/default/www/etusivu/tietoa_bioenergiasta/energiatuotannon_tekniikka/polttotekniikka_kiinteille_polttoaineille/leijupoltto/) . Muutettu: 7.10.2011. Luettu: 5.4.2012.

Maa- ja metsätalousministeriö. 2011c. Poltinpoltto. Www-dokumentti. Saatavissa: [http://www.bioenergiatieto.fi/default/www/etusivu/tietoa\\_bioenergiasta/energiatuotannon\\_tekniikka/polttotekniikka\\_kiinteille\\_polttoaineille/poltinpoltto/](http://www.bioenergiatieto.fi/default/www/etusivu/tietoa_bioenergiasta/energiatuotannon_tekniikka/polttotekniikka_kiinteille_polttoaineille/poltinpoltto/) . Muutettu: 7.10.2011. Luettu: 22.4.2012.

Muilo, Y. 2012. Sähköposti. [Yrjo.Muilo@centria.fi](mailto:Yrjo.Muilo@centria.fi) . 9.5.2012.

Nalkki, J. 2003. Puupuristeet. Teoksessa K. Knuuttila (toim.) Puuenergia. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy, 84–88.

Ollila, J. 2012. Hankintapäällikön haastattelu. 3.5.2012. Kanteleen Voima Oy. Haapavesi.

Oravainen, H. 2003a. Kiinteistökohtaiset lämmitystekniikat. Teoksessa K. Knuuttila (toim.) Puuenergia. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy, 92–96.

Oravainen, H. 2003b. Yhdistetty sähkön ja lämmön tuotanto. Teoksessa K. Knuuttila (toim.) Puuenergia. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy, 99.

Orrain, A. 2011. Monipolttoainebiomassalaitokset. Kandidaatintyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Energiatekniikan koulutusohjelma. Lappeenranta. Pdf-dokumentti. Saatavissa: <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/67964/nbnfi-fe201103181357.pdf?sequence=3> . Luettu: 22.4.2012.

Palo, P. 2009. Öljypolttimen modifiointi bioöljykyttöön. Opinnäytetyö. Lahden ammattikorkeakoulu. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Lahti. Pdf-dokumentti. Saatavissa: [http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/2771/Palo\\_Petri.pdf?sequence=1](http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/2771/Palo_Petri.pdf?sequence=1) . Luettu: 21.4.2012.

Pellinen, M. 1996. Mekaanisen metsäteollisuuden energianhankinnan vaihtoehdot. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu. Energiatekniikan laitos. Pdf-tiedosto. Saatavissa: <http://www.sll.fi/mpe/di/di.pdf> . Luettu: 18.3.2012.

PVP Oy. 2010. Alueinfo. Www-dokumentti. Saatavissa: [http://www.oulunetelainen.fi/menu\\_description.asp?menu\\_id=45](http://www.oulunetelainen.fi/menu_description.asp?menu_id=45) . Luettu: 28.4.2012.

Saastamoinen, J. 2002. Kiinteän polttoaineen palaminen ja kaasutus. Teoksessa R. Raiko & J. Saastamoinen & M. Hupa & I. Kurki-Suonio (toim.) Poltto ja palaminen. 2. täydennetty painos. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy, 186–232.

- Sipi, M. 2006. Puutuoteteollisuus 5: Sahatavaratuotanto. 3. tarkistettu painos. Helsinki: Edita Oy.
- Takko, H. 2006. Energiaopas 2006. Pdf-tiedosto. Saatavissa: <http://agrimarket.mederra.com/files/gallery/1220351667.pdf> . Luettu: 31.3.2012.
- Tilastokeskus. 2010. Polttoaineluokitus 2010. Www-dokumentti. Saatavissa: [http://www.stat.fi/tup/khkinv/khkaasut\\_maaritykset\\_2010.html](http://www.stat.fi/tup/khkinv/khkaasut_maaritykset_2010.html) . Muutettu: 22.1.2010. Luettu: 30.4.2012.
- Tilastokeskus. 2012. Energian hintojen nousu jatkui. Www-dokumentti. Saatavissa: [http://www.stat.fi/til/ehi/2011/04/ehi\\_2011\\_04\\_2012-03-20\\_tie\\_001\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/ehi/2011/04/ehi_2011_04_2012-03-20_tie_001_fi.html) . Muutettu: 20.3.2012. Luettu: 26.4.2012.
- Turos Team. 2012. HKG BioNear - lämpö- ja CHP -laitokset. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.turosteam.fi/details.php?group=18&id=1> . Luettu: 22.4.2012.
- Turun Seudun Jätehuolto Oy. 2012. Jätteiden ABC-luettelo. Puukuitueriste. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.tsj.fi/fi/jatteidenabc.html?letter=P> . Luettu: 5.5.2012.
- Turveteollisuusliitto ry. 2012. Turvetuotannon vesistövaikutukset. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.turveinfo.fi/ymparisto> . Muutettu: 9.2.2012. Luettu: 14.4.2012.
- Tyypillisiä polttoaineiden tehollisia lämpöarvoja ja tiheyksiä. 2003. Teoksessa K. Knuuttila (toim.) Puuenergia. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy, 11.
- U.S. Geological Survey. 2012. Peat. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/peat/> . Muutettu: 6.3.2012. Luettu: 13.4.2012.
- Virtuaalisuo. 2007a. Jyrsinturvetuotanto. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://agl.cc.jyu.fi/visu/index.php?id=553> . Luettu: 13.4.2012.
- Virtuaalisuo. 2007b. Palaturvetuotanto. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://agl.cc.jyu.fi/visu/index.php?id=554> . Luettu: 13.4.2012.
- Öljyalan Keskusliitto. 2012. Biopolttoöljy. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.oil.fi/index.php?m=6&id=65> . Luettu: 21.4.2012.

**Sivutuotteiden energia- ja hyötykäyttö Oulun Eteläisen ja Keski-Pohjanmaan alueiden mekaanisen metsäteollisuuden yrityksissä****Yleistä yrityksestänne****1) Mikä on yrityksenne pääasiallinen mekaanisen metsäteollisuuden ala?**

- ☐ Sahateollisuus
- ☐ Huonekaluteollisuus
- ☐ Insinööripuutuoteteollisuus (Liimapalkit, I-palkit, LVL eli viilupuu yms.)
- ☐ Rakennuspuutuoteteollisuus (Ovet, ikkunat, kiintokalusteet, kattoristikot, parketit yms.)
- ☐ Puutaloteollisuus (Puiset elementti- ja hirsirakennukset yms.)
- ☐ Vaneriteollisuus
- ☐ Lastulevyteollisuus
- ☐ Kuitulevyteollisuus
- ☐ Muu. Mikä?

**2) Mikä on yrityksenne liikevaihto?**

Vastaus euroina.

**3) Kuinka monta työntekijää yrityksessänne työskentelee?**

Työntekijöitä keskimäärin:

**4) Kuinka monta erillistä toimipistettä (/tuotantolaitosta) yrityksessänne on?**

Toimipisteiden lukumäärä koko maassa:

**Toimipisteen lämmitys ja energia**

(Vain kyselyn kohdealueen tuotantolaitokset.)

**5) Kuinka monta neliömetriä toimipisteessänne on lämmitettäviä tuotantotiloja?**Vastaus m<sup>2</sup>.**6) Mitä lämpöenergiaa tarvitsevia järjestelmiä tai laitteita toimipisteessänne on? (Voitte valita useita.)**

- ☐ Puutavaran kuivaamo(t)
- ☐ Pintakäsittelylinjalla oleva(t) kuivaamo(t)
- ☐ Muu(t). Mikä(/Mitkä)?

**7) Onko toimipisteessänne omaa lämpölaitosta?**

(Jos laitoksia/kattiloita on useita, niin käsitelkää ne yhtenä kokonaisuutena.)

- ☐ Kyllä. Lämpöteho on (MW):
- ☐ Ei

**Jos omaa lämpölaitosta ei ole, voitte siirtyä kysymykseen 13.**

**8) Tuotetaanko toimipisteenne lämpölaitoksella myös sähköä?**

- ☐ Kyllä. Sähköteho on (MW):
- ☐ Ei

**9) Myyttekö toimipisteenne lämpölaitoksessa tuottamaanne lämpö- tai sähköenergiaa?**

- ☐ Kyllä, kumpaakin.
- ☐ Kyllä, lämpöenergiaa.
- ☐ Kyllä, sähköenergiaa.
- ☐ Emme kumpaakaan.

**10) Mikä on toimipisteenne lämpölaitoksen ensisijainen polttoaine?**

- ☐ Oman tuotannon sivutuotteet
- ☐ Raskas polttoöljy
- ☐ Kevyt polttoöljy
- ☐ Turve
- ☐ Ostettu polttohake (esim. metsähake, kantohake yms.)
- ☐ Ostetut puupelletit
- ☐ Ostetut puubriketit
- ☐ Muu. Mikä?

**11) Mitä muita polttoaineita toimipisteenne lämpölaitos käyttää?  
(Voitte valita useita.)**

- ☐ Oman tuotannon sivutuotteet
- ☐ Raskas polttoöljy
- ☐ Kevyt polttoöljy
- ☐ Turve
- ☐ Ostettu polttohake (esim. metsähake, kantohake yms.)
- ☐ Ostetut puupelletit
- ☐ Ostetut puubriketit
- ☐ Muu(t). Mikä(/Mitkä)?

**Jos toimipisteenne lämpölaitos ei käytä oman tuotantonne sivutuotteita, voitte siirtyä kohtaan 13.**

**12) Mitä oman tuotannon sivutuotteita hyödynnätte toimipisteenne lämpölaitoksessa? (Voitte valita useita.)**

- ☐ Kuorta
- ☐ Puutähteitä kokonaisena (esim. hukkapuun palasia, viilujätettä yms.)
- ☐ Haketettua puuainesta (esim. sahanhaketta, puutähdehaketta yms.)
- ☐ Sahanpurua
- ☐ Höylänlastuja
- ☐ Puupölyä
- ☐ Muuta(/Muita). Mitä?

**13) Millä seuraavista toimipisteenne tuotantotilojen lämmitys on pääasiallisesti hoidettu?**

- ☐ Omalla lämpölaitoksella
- ☐ Sähköllä
- ☐ Kauko- tai aluelämmöllä
- ☐ Muuten. Miten?

**Sivutuotteiden energia- ja hyötykäyttö**

**14) Mihin myytte toimipisteenne tuotannon sivutuotteita? (Voitte valita useita.)**

- ☐ Emme myy sivutuotteitamme
- ☐ Energiantuotannon polttoaineeksi
- ☐ Energiantuotannon raaka-aineeksi (esim. pelletointiin)
- ☐ Selluteollisuuden raaka-aineeksi
- ☐ Lastulevyteollisuuden raaka-aineeksi
- ☐ Kuitulevyteollisuuden raaka-aineeksi
- ☐ Muille kuin eldellämäinittujen alojen yrityksille. Minkä alan(/alojen)?
- ☐ Yksityishenkilöille
- ☐ Muihin kohteisiin. Mihin?

**15) Miten muuten hyödynnätte toimipisteenne tuotannon sivutuotteita?**

**16) Minkä asioiden tiedätte tai uskotte olevan parhaita puolia oman lämpölaitoksen rakentamisessa ja sivutuotteiden polttamisen aloittamisessa?**

**Huom! Valitkaa 3 asiaa.**

- ☐ Säästöt lämmityskustannuksissa
- ☐ Jättemaksujen pieneminen jätteen vähentyessä
- ☐ Lämmön myynnistä saatavat tulot
- ☐ Ekologisuus
- ☐ Omavaraisuus lämmöntuotannossa
- ☐ Vähentynyt tarve etsiä ostajia sivutuotteille
- ☐ Muu(t). Mikä(/Mitkä)?

**17) Minkä asioiden tiedätte tai uskotte olevan huonoimpia puolia oman lämpölaitoksen rakentamisessa ja sivutuotteiden polton aloittamisessa?**

**Huom! Valitkaa 3 asiaa.**

- ☐ Tarvittavien investointien korkea hinta
- ☐ Lämpölaitoksen käytön ja huollon vaatiman lisätyövoiman kustannukset
- ☐ Tulipaloriski
- ☐ Lämpölaitoksen toimintahäiriöstä aiheutuva lämmöntuotannon katkeaminen
- ☐ Lämpölaitoksen rakentamista edeltävien selvitys- ja lupa-asioiden hoitaminen
- ☐ Mahdollisesti tarvittavan lisäpolttoaineen korkea hinta
- ☐ Muu(t). Mikä(/Mitkä)?

**Valitkaa seuraaviin väittämiin parhaiten omaa mielipidettänne vastaava vaihtoehto.**

**18) Sivutuotteiden energiakäytön aloittaminen toimipisteessämme on/oli taloudellisesti erittäin kannattavaa.**

- ☐ Täysin eri mieltä
- ☐ Jokseenkin eri mieltä
- ☐ En osaa sanoa
- ☐ Jokseenkin samaa mieltä
- ☐ Täysin samaa mieltä

**19) Yrityksellämme on riittävästi tietoa sivutuotteiden energiakäytön mahdollisuuksista.**

- ☐ Täysin eri mieltä
- ☐ Jokseenkin eri mieltä
- ☐ En osaa sanoa
- ☐ Jokseenkin samaa mieltä
- ☐ Täysin samaa mieltä

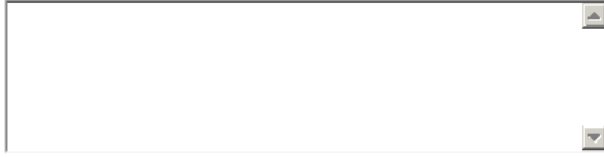
**20) Yrityksellämme on riittävästi tietoa sivutuotteiden muun hyötykäytön mahdollisuuksista.**

- ☐ Täysin eri mieltä
- ☐ Jokseenkin eri mieltä
- ☐ En osaa sanoa
- ☐ Jokseenkin samaa mieltä
- ☐ Täysin samaa mieltä

**21) Seuraavan viiden vuoden aikana yrityksemme tulee toimipisteessämme aloittamaan sivutuotteiden energiakäytön tai tehostamaan sitä.**

- ☐ Täysin eri mieltä
- ☐ Jokseenkin eri mieltä
- ☐ En osaa sanoa
- ☐ Jokseenkin samaa mieltä
- ☐ Täysin samaa mieltä

**22) Vapaa sana kyselystä ja sen aihepiiriin liittyvistä asioista.**



**Muistattehan painaa "Lähetä" -painiketta, kun olette vastanneet kaikkiin teitä koskeviin kysymyksiin?  
Kiitos vastauksestanne!**